المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص اتصالات

تقنيات الميكرويف والأقمار الصناعية

٢٤٧ تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **تقنيات الميكرويف والأقمار الصناعية** " لمتدربي تخصص "**الاتصالات**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنيات المايكروويف و الأقمار الصناعية

مقدمة في الموجات الدقيقة و خطوط النقل

الوحدة الأولى : مقدمة في الموجات الدقيقة وخطوط النقل

الأهداف :

تهدف هذه الوحدة إلى :

١. وضع المتدرب في إطار تقنية الموجات الدقيقة .

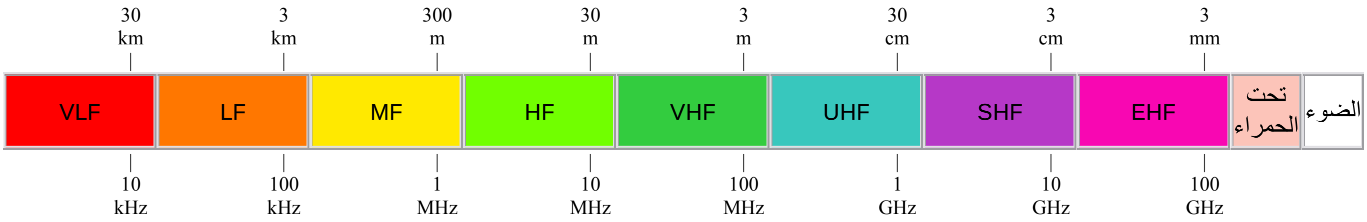
٢. تحديد موقع الموجات الدقيقة في الطيف الترددي وأطوال الموجات .

٣. أخذ فكرة شاملة عن استعمالات المايكروويف وخصائصها وتطبيقاتها المختلفة في الاتصالات وخاصة الحديثة منها .

٤. تعريف المتدرب بصفةعامة على خطوط النقل المستعملة في الاتصالات و بصفة خاصة في المايكروويف.

مقدمة :

إن مفهوم الموجات الدقيقة ينطبق على الإشارات الكهربائية ذات الترددات المحصورة بين 300GHz إلى 300MHz غير أنه بالنسبة لتقنية الاتصالات فإن الموجات الدقيقة عادة ما تخص النطاق الترددي ما بين 1GHz إلى 30GHz.



شكل ١ : الطيف الترددي

مع العلم أن طول الموجة مرتبط بتردد الموجة حسب العلاقة التالية :

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

جدول ١ : نطاقات الترددات المستعملة في الاتصالات		
الترميز الجديد	الترميز القديم	الترددات (GHZ)
C	UHF*	0.5 to 1
D	L	1 to2
E	S	2 to 3
F	S	3 to 4
G	C	4 to 6
H	C	6 to 8
I	X	8 to 10
J	X	10 to 12.4
J	Ku	12.4 to 18
J	K	18 to 20
K	K	20 to 26.5
K	Ka	26.5 to 40

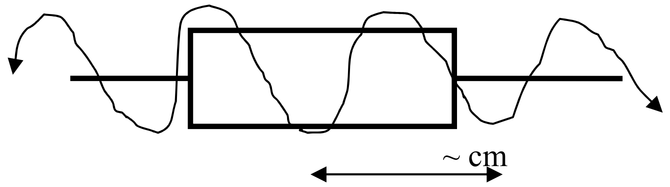
* UHF - Ultra High Frequency (الترددات العالية جدا)

عادة ما تنقسم الترددات المستعملة في تقنية الاتصالات في نطاقات محددة معروفة باختصارات حرفية ترمز إلى قيمة التردد وهي مبنية في الجدول1

في الجدول السابق تبين أن نطاق موجات المايكروويف محصور من L إلى K حسب الترميز القديم ومن D إلى K حسب الترميز الجديد .

أي أن طول الموجات المستعملة في هذا المجال تتراوح من طول الموجة 1cm إلى 30cmولذلك يطلق عليها بالموجات الدقيقة (Microwaves) .

هذا يعني أن العناصر المتعارف عليها في الإلكترونيات وطريقة حساب الدارات المتكونة منها بواسطة التيار والجهد لم تعد مجدية نظراً لقصر الموجة بالنسبة للعنصر. مثل المقاومة المستعملة في الدارات الإلكترونية ذات الترددات المنخفضة والتي طولها مع أرجلها حوالي ٣ سنتيمتر أي عدة مرات طول الموجة الصنتمترية ، يعني أن التيار والجهد على هذا العنصر ليس له نفس القيمة على طول العنصر حيث قد يكون الجهد في نقطة ما على هذا العنصر موجبا بينما يكون في نقطة أخرى على نفس العنصر سالباً حسب ما هو مبين في الشكل ٢ .



شكل ٢

أضف إلى ذلك فإن أرجل المقاومة الموضحة في الشكل أعلاه يقارب طولها ربع طول الموجة وبالتالي فإنها تلعب دور هوائي مشع للمجالات الكهرو مغناطسية التي تؤثر في العناصر المجاورة في الدارة على اللوح المطبوع وكذلك على الأجهزة القريبة من الدارة ، مما يؤدي إلى أخطاء في عمل الدارة وتشويش للأجهزة المجاورة، قد يؤدي هذا الإشعاع إلى ضرر أيضاً بالأشخاص القريبين من هذا الإشعاع وحتى التوصيلات في المايكروويف تأخذ أطوالها بعين الاعتبار وتعتبر من عناصر دوائر المايكروويف .

لهذا كله نستعمل في تقنية المايكروويف طريقة مختلفة لحساب الدارات وعناصر مختلفةعما هو مستعمل في الترددات المنخفضة .

الباب الأول : خصائص المايكروويف

نظراً للترددات العالية (GHz) المستعملة في المايكروويف فإن تطبيقاتها في الاتصالات تمتاز بالخصائص التالية:

أولاً: **سعة النطاق** : وذلك عند استعمال ترددات المايكروويف كحامل للمعلومات فإنه يوفر لنا إمكانية حمل عدة قنوات على تردد واحد.

ومثال ذلك استعمال المايكروويف للربط بين المقاسم البعيدة لنقل ما يزيد عن ٢٠٠٠ خط هاتفي على حامل واحد.

ثانياً : صغر دوائر المايكروويف : نظراً لقصر الموجة المتناهي أصبح بالإمكان تصميم دوائر الإرسال والتكبير كلها على لوحة مطبوعة مدمجة (MMIC-Microwave Monolithyc Integrated Circuit) مما أمكن إيجاد أجهزة اتصالات في السوق مدمجة وصغيرة الحجم كأجهزة الاتصالات المتنقلة مثال على ذلك جهاز الجوال (GSM)

ثالثا : إمكانية تصميم هوائيات ذات كسب عالٍ : تمكن المايكروويف من تصميم هوائيات عالية الكسب والتوجيه بحيث يمكن استعمالها لقطع المسافات البعيدة كالربط بين الأرض والفضاء الخارجي (الأقمار الاصطناعية).

رابعاً :انتشار على خط البصر: انتشار موجات المايكروويف هو من نمط الموجات المنتشرة على خط البصر (LOS-Line Of Sight) أي يصلح لربط بين نقطتين متقابلين .

استعمالات المايكروويف :

ينتج عن المميزات المذكورة آنفا عدة تطبيقات للمايكروويف في تقنية الاتصالات نذكر منها :

١- الاتصالات ذات النطاق الواسع (Broadband communication System)

٢- نظراً لقصر الموجة وعلو كسب وتوجيه الهوائيات في المايكروويف فإنها تستعمل في تقنية الرادار لاستكشاف الأهداف المختلفة

٣- لقد أثبتت تقنيات المايكروويف جدارتها وكفاءتها في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية لكونها تستعمل الترددات التي تخترق الطبقات الجوية العليا وهي ما يعبرعليها بالأينوسفير (Ionosphere) أو غلاف التأيين وبالتالي تكون صالحة للاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية والاتصالات مع المسابر الفضائية .

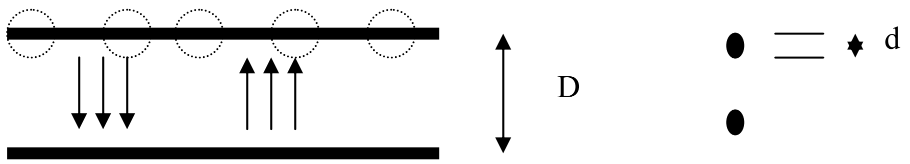
٤- تستعمل المايكروويف في عدة تطبيقات علمية وصناعية وطبية وخصص لذلك نطاق عرف ب ISM-Industrial Scientific and Medical

٥- من بين خصائص المايكروويف أنها قابلة للامتصاص من طرف جزئيات الماء وبالتالي تستعمل هذه الخاصية في أفران المايكروويف للطبخ.

الباب الثاني : خطوط النقل في المايكروويف

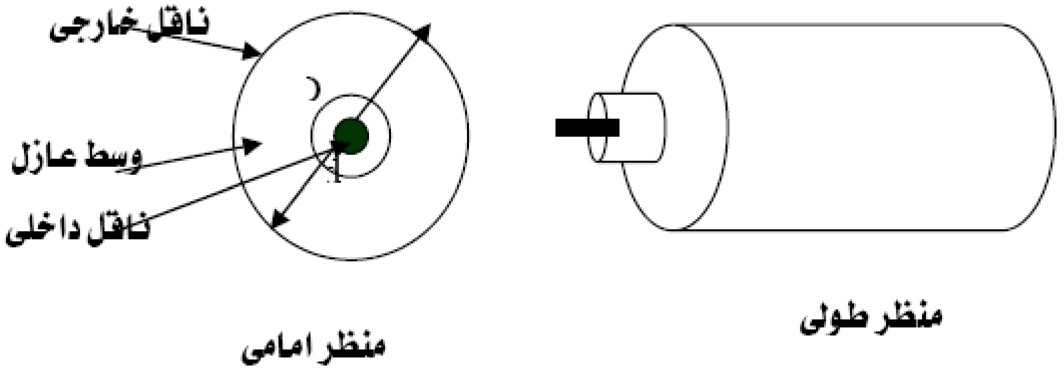
١. تمهيد

نتيجة لارتفاع ترددات المايكروويف فإن خط النقل ذا السلكين المتعارف عليه في الهاتف مثلا وفي الصويتيات لا يمكن استعماله في المايكروويف لفقده العالي نتيجة إشعاعه وتأثره بالمجالات الكهرومغناطسية الخارجية.



ثم نتيجة للترددات العالية فإن التيار الذي يمر في الناقل ينزاح إلى المحيط الخارجي لقطع الناقل وهذا يحدث ظاهرة الجلد (Skin effect). فانحصار التيار في أطراف مقطع الناقل يسبب ارتفاع المقاومة وبالتالي ازدياد الفقد ولذلك لا يصلح الخط الناقل ذو السلكين للإشارات ذات التردد التي يفوق ترددها على $f = 100$ MHz

٢. خطوط النقل المحورية



شكل ٣

يتكون الخط المحوري من ناقل داخلي عادة في النحاس لجودة ناقليته للتيار الكهربائي وجدواه الاقتصادية وحوله ناقل خارجي على شكل أسطوانة مجوفة من النحاس أيضا أو من الألمنيوم حيث يكون محورها الناقل الداخلي ويفصل بين الناقلين وسط عازل إما الهواء أو مادة بلاستيكية البوليتلان مثلا وهذا الوسط هوالذى يؤثر في خصائص الخط المحوري .

ويوجد نوعان من الخطوط المحورية :

أ- نوع متين (Rigid) يطلق عليه اسم الخط الهوائي حيث الناقل الداخلي مثبت بواسطة أسطوانات عازلة داخل الناقل الخارجي .

ب- نوع لين (Flexible) ويكون وسط الفاصل بين الناقل الداخلي والخارجي مملوء بمادة عازلة ويكون الناقل الخارجي من ضفائر النحاس أو ورق ألمونيوم (foil).

من مزايا الخطوط المحورية نتيجة لالتفاف الناقل الخارجي حول الداخلي فإن إشعاع المجالات المغناطيسية نحو الخارج مضمحل وبالتالي فإن الفقد يكون منخفضا .

وتوضع الخطوط المحورية عادة للمايكروويف بمعاوقة ذاتية تساوي ($Z_o=50\Omega$) .

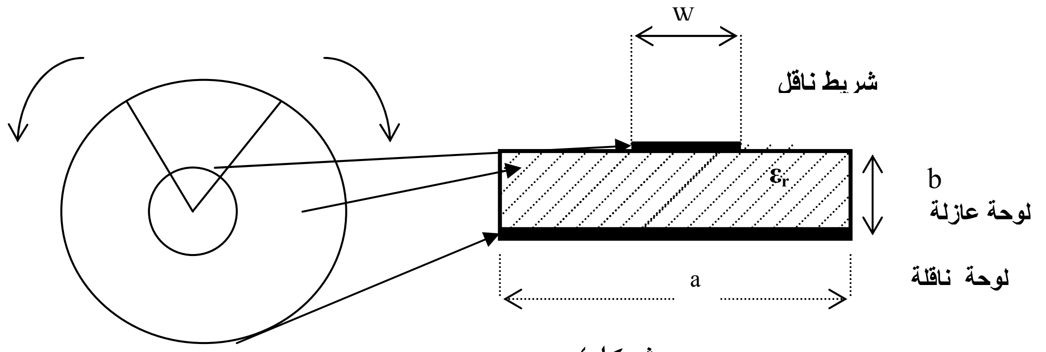
جدول (2) يبين بعض الكوابل المحورية ورموزها المستعملة في المايكروويف .

جدول٢

نوع الكابل	Z_o, Ω	نوع العازل	مساحة سلك الناقل الداخلي	قطر العازل الخارجيD	الفقد بالمائة متر (db/100m) 200 MHz	400 MHz	500 MHz	900 MHz
RG-6	75	Foam PE	0.95	6.9	10	12.5	16.2	21
RG-59BU	75	PE	0.58	6.15	18	24	27.5	39.5
RG-11	75	Foam PE	1.63	10.3	7.2	10.5	12.1	17.1
RG-11 A/U	75	PE	0.40	10.3	10	14	16	24
RG-12 A/U	75	PE	0.4	14.1	10	14	16	24
RG-58 C/U	50	PE	0.18	4.95	23	33	20	28.5
RG-213 U	50	Pe	0.75	10.3	9	14	-	-
RG-62 A/U	93	PE	0.64	6.15	13	17	-	-

٣- **خطوط الشريط الدقيق المايكروستريب** (Microstrip)

هو عبارة عن كيبل محوري مفتوح بحيث يكون الناقل الخارجي مستوٍ وهو قاعدة أرضية للناقل الداخلي المعزول عنه بالوسط العازل ذي السماحية النسبية ε_r .

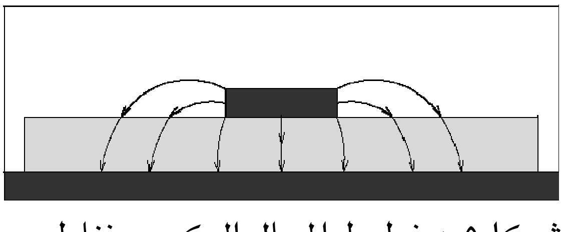


شكل٤

فخط المايكروستريب هو عبارة عن شريط ناقل مطبوع فوق سطح لوحة عازلة ذات سماحية ε_r نسبية مرتفعة و سطحها الآخريمثل قاعدة أرضية ناقلة مثل ما هو مبين في الشكل (٤).

عند توصيل إشارة ذات تردد عالٍ مايكروويف بهذا الخط فإنه يتولد بين الشريط الناقل والقاعدة مجال كهرومغناطيسي من نوع أو شبيه جدا بنمط ما يعرف بـ TEM-Transverse Electro Magnetic) أي الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة التي تنتشر على طول المايكروستريب الشكل 5 يبين خطوط المجال الكهربائي E لخط المايكروستريب وكما يبدو في الشكل فإن خطوط المجال الكهربائي تخترق وسطين مختلفين هما الهواء واللوحة العازلة فبالتالي يكون للموجة طولين مختلفين في الهواء وفي اللوحة العازلة وهو ما يؤدي عند حساب معاوقة الخط إلى استبدال السماحية النسبية للوحة ε_r بالسماحية الفعالة ε_e لازدواجية وسط الانتشار حسب القانون الآتي :

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12b}{w}}}$$



شكل٥ : خطوط المجال الكهرومغناطيسى

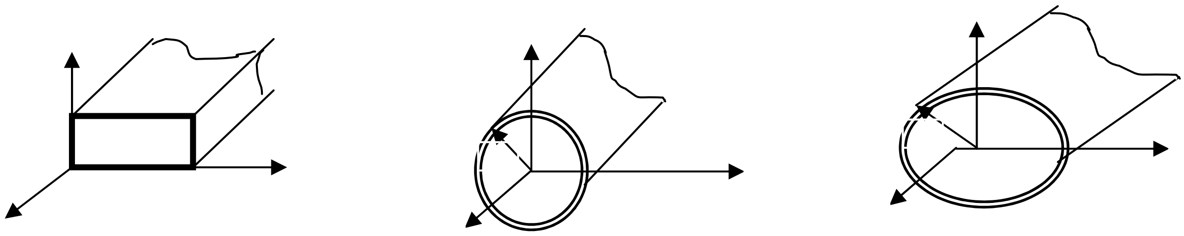
وتستعمل هذه السماحية الفعالة لحساب سرعة انتشار الموجة في خط المايكروستريب حسب العلاقة التالية :

$$v_p = \frac{c}{\varepsilon_e}$$

ومن مزايا خط النقل المايكروستريب أنه يمكن من تصميم دوائر ميكروويف صغيرة الحجم مما يسمح لوضع عناصر لدائرة وخط النقل على لوحة مطبوعة واحدة وهو ما يطلق عليه تقنية Micowave Monolitlyc Integrated Circuit - MMIC التي تستعمل في أجهزة الاتصالات الحديثة مثل الجوال و أجهزة استقبال الاتصالات عبر الأقمار الصناعية كذلك يمكن توليد هوائيات في نطاق المايكروويف بواسطة هذا النوع من الخطوط.

٤. خطوط الدليل الموجي

في الترددات العالية للمايكروويف يمكن استعمال أنابيب معدنية فارغة لنقل الموجات حيث تنتشر الموجة داخل الأنبوب عن طريق الانعكاسات المتتالية على جدرانه ويسمى هذا الأنبوب الذي يقود الموجات الدليل الموجي . عادة تستعمل الأنابيب ذات مقاطع بسيطة إما مستطيلة أو دائرية أو بيضاوية(بيضاوية المقطع) وتكون إما صلبة أو لينة .



شكل ٦ : أشكال الدليل الموجي

وحتى يمكن انتشار الموجة في الدليل الموجي يجب أن يكون تردد الموجة مرتبط بأبعاد المقطع فكلما ارتفع التردد صغر حجم الدليل الموجي ولهذا السبب يكون استعمال الدليل الموجي في الأحجام المعقولة (صنتمترية) بداية من الترددات 3GHz وما فوق حيث ينتهي استعمال الكيبل المحوري لعلو الفقد فيه.

أما بالنسبة للدليل الموجي الذي وسطه الهواء (لا يحتوي على عازل) فإن الفقد فيه قليل وخاصة إذا ما استعمل ناقل جيد لجدرانه وهو ما يعرف بظاهرة الجلد (Skin effect) ومن مميزاته نظراً لعدم وجود عازل داخلي في الدليل الموجي فإنه قادر على نقل قدرة أعلى مما هو الحال بالنسبة للكوابل المحورية لعدم وجود خطر القفز الوميضي. وتبلغ قدرة الدليل الموجي حوالي أضعاف قدرة الناقل المحوري ويتميز أيضاً الدليل الموجي بالنسبة للكوابل المحورية بسعة النطاق حيث يمكن توصيل موجات ذات تردد عالٍ تصل إلى ما فوق GHz ٢٢٠ في الوحدة الثانية نتعرف أكثر على الدليل الموجي وأهم تطبيقاته والعناصر التي يمكن أن يتكون منها.

تقنيات الماكروويف و الأقمار الصناعية

الدليل الموجي (WAVE GUIDE)

الدليل الموجي (WAVE GUIDE)

٢

الوحدة الثانية : الدليل الموجي (WAVE GUIDE)

الأهداف :

تهدف هذه الوحدة إلى :

١/ تمكين المتدرب من فهم و التعامل مع أدلة الموجات و خاصة الأكثر استعمالاً وهي الدليل المستطيلي والدائري وكيفية استعمالها كأداة تغذية بين الهوائي وجهاز الإرسال وكذلك بين الهوائي وجهاز الاستقبال في ربط المايكرويف (Microwave Link) .

٢/ كما تساعد المتدرب في تفهم طريقة اختيار النوع الذي يتماشى مع ظروف انتشار الموجة داخل الدليل حسب التردد .

٣/ إعطاء المتدرب خبرة في استعمال هذه الأدلة بشكل ميسر

مقدمة :

عند الترددات الأعلى من 3GHz يصبح من الصعب نقل الموجات الكهرومغناطيسية باستخدام الخطوط والكوابل . من الممكن في هذه الحالة نقل الموجة الكهرومغناطيسية بواسطة أنبوبة معدنية تسمى دليل الموجة . عادة ما تصنع جدران دليل الموجة من نحاس نقي أو نحاس أصفر أو ألومنيوم وذلك نظراً لانخفاض الفقد في هذه المواد .

تطبيقات ومزايا دليل الموجة:

- خلال المدى الترددي من 3GHz إلى 100GHz يفضل استخدام أدلة الموجة عن استخدام الخطوط المحورية .
- مظهر دليل الموجة (الدائري) يبدو مشابهاً للخط المحوري ما عدا أنه لا يحتوي على موصل داخلي

مزايا أدلة الموجة :

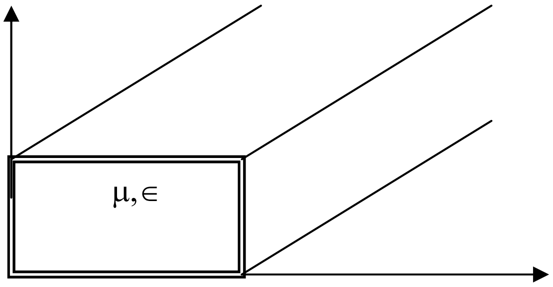
(١) تصنيع أدلة الموجة يكون أبسط من تصنيع الخطوط المحورية .

(٢) احتمال حدوث القفز الوميضي يكون قليلاً إذ إن مقدرة دليل الموجة أحسن وتبلغ عشرة أضعاف مقدرة الخط المحوري .

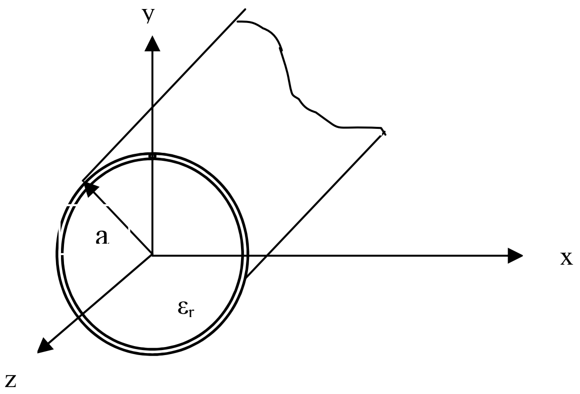
(٣) الفقد في القدرة يكون أقل إذا قورن بالفقد في خطوط النقل .

(٤) دليل الموجة يتميز بالبساطة الميكانيكية وأقصى تردد تشغيل (325 GHz)

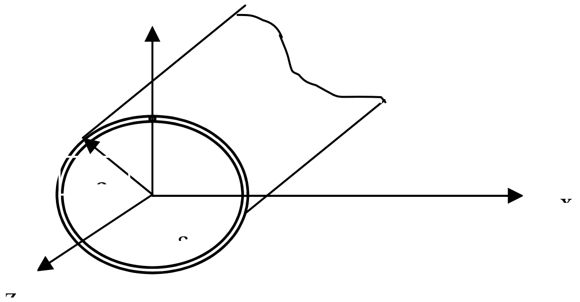
يعتبر دليل الموجة أنبوباً معدنياً (Tube) ذا جودة عالية فارغاً من داخله أو معبأً بعازل وهو متكاثر الوجود على٣ أنواع : (انظر شكل ١) :



١-   دليل موجة مستطيلي   .



٢-   دليل موجة دائري :



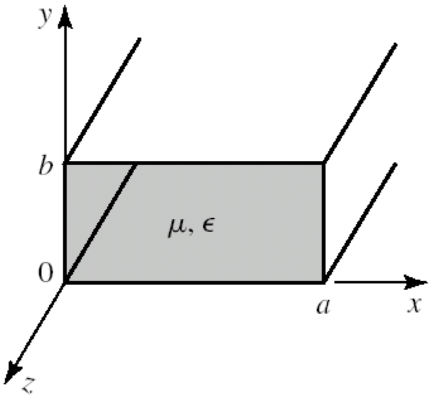
٣-   دليل موجة بيضاوي :

شكل ١ الأنواع الأساسية لأدلة الموجة

الباب الأول: دليل الموجة المستطيل (Rectangular Wave guide) :

استحالة تواجد موجة مستعرضة كهرومغناطيسية TEM داخل دليل الموجة :

في الخطوط المحورية الموصل الداخلي يحمل تيار توصيل كهربائي تطوقه مسارا ت مغلقة للمجال المغناطيسي H واقعة في المستوى العمودي لهذا التيار في حين تنتشر الموجات داخل دليل الموجة المجوف ويجب أن تكون لها مركبة مجال في اتجاه انتشارها ، كهربائية أو مغناطيسية (انظر شكل ٢) .



شكل ٢ : دليل موجة مستطيلي

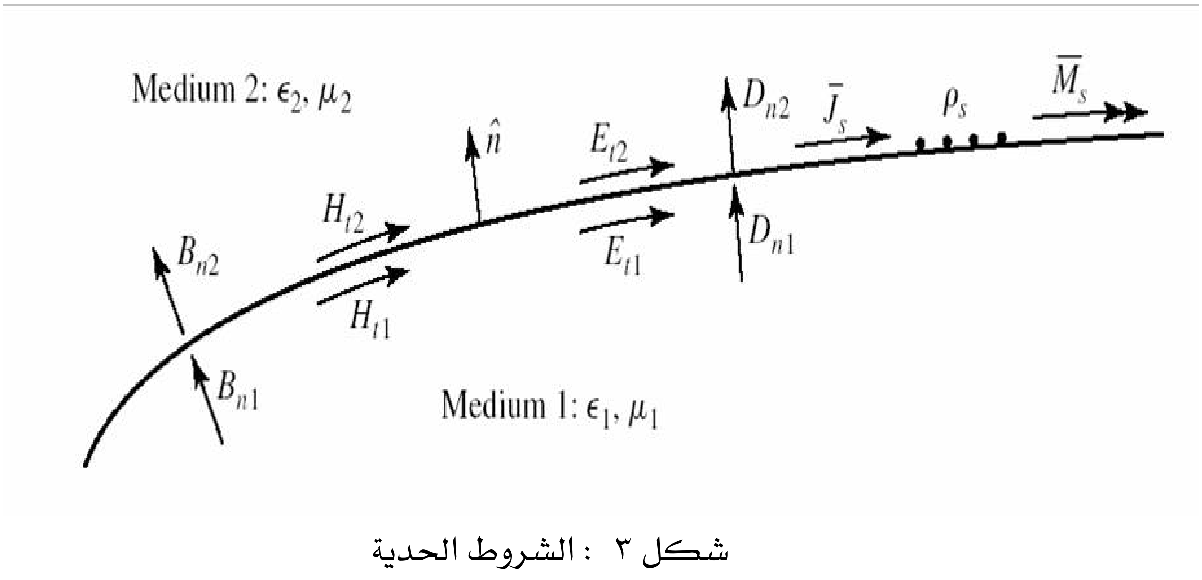
١. انعكاس الموجات من مستوى موصل :

شروط الحد بين وسط عازل وموصل مثالي :

(١) المجال الكهربائي يجب أن ينتهي عمودياً على سطح الموصل . معنى ذلك أن المركبة المماسية للمجال الكهربائي يجب أن تساوي الصفر عند الحد .

(٢) المجال المغناطيسي يجب أن يكون مماسياً تماماً لسطح الموصل . معنى ذلك أن المركبة العمودية للمجال المغناطيسي يجب أن تساوي الصفر عند الحد .

شكل ٣ يبين الشروط الحدية .



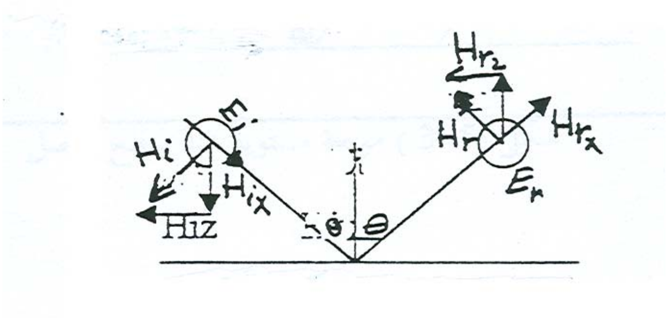
شكل ٣ : الشروط الحدية

٢. انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة TEM من مستوى موصل :

سقوط موجة كهرومغناطيسية مستعرضة على مستوى موصل فإن اتجاه انتشارها يعمل زاوية سقوط θ مع العمودي على هذا المستوى ، فإنها منتشرة في اتجاه يعمل زاوية انعكاس مع العمودي مساوية لزاوية السقوط . نتيجة لذلك تنتشر الموجة في اتجاه موازٍ للمستوى الموصل ، ويسمى اتجاه هذا الانتشار (اتجاه للموجة المرشدة) .

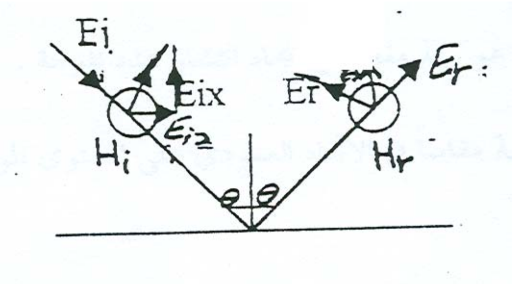
يمكن أن تنسق الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة بطريقتين :

(١) المجال الكهربائي E عمودي على اتجاه انتشار الموجة المرشدة Z وموازياً للمستوى الموصل . بالتالي في هذه الحالة لا يكون للمجال الكهربائي مركبة في اتجاه انتشار الموجة المرشدة ، بينما يوجد للمجال المغناطيسي مركبة H_z في اتجاه انتشار الموجة المرشدة (شكل ٤)
الموجات التي تنتشر بهذه الطريقة تسمى موجات مستعرضة كهربائياً Transverse -Electric TE .



شكل ٤ : موجات مستعرضة كهربائياً TE

(٢) المجال المغناطيسي H عمودي على اتجاه انتشار الموجة المرشدة Z موازياً للمستوى الموصل ، في هذه الحالة لا يكون للمجال المغناطيسي مركبة في اتجاه انتشار الموجة المرشدة بينما يكون للمجال الكهربائي مركبة E_z في اتجاه انتشار الموجة المرشدة .
الموجات التي تنتشر بهذه الطريقة تسمى موجات مستعرضة مغناطيسياً Transverse Magnetic - TM



شكل ٥ : موجة مستعرضة مغناطيسية TM

الموجة الكهرومغناطيسية المرشدة المنتشرة في الاتجاه Z لم تعد موجة كهرومغناطيسية مستعرضة TEM وإنما ، إما أن تكون مستعرضة كهربائياً TE أو مستعرضة مغناطيسياً TM

الطول الموجي : يعرف بأنه المسافة بين نقطتين متتاليتين متماثلتين للموجة :

- الطول الموجي للموجة الساقطة هو λ_C مقاساً في اتجاه انتشار هذه الموجة .
- الطول الموجي للموجة المرشدة هو λ_P مقاساً في اتجاه انتشار هذه الموجة .
- والطول الموجي العمودي هو λ_n مقاساً في الاتجاه العمودي على المستوى الموصل .

$$\lambda_p = \frac{\lambda_c}{\sin\theta} \qquad \lambda_n = \frac{\lambda_c}{\cos\theta} \qquad (١)$$

الطول الموجي المقاس في اتجاه انتشار الموجة المرشدة λ_P يكون أكبر من الطول الموجي في الفضاء الحر λ_C .

للموجة الكهرومغناطيسية سرعتان :

١ - السرعة التي تنشر بها الموجة v_g .

٢ - السرعة التي يتغير بها وجه الموجة v_p .

وفي الفضاء الحر السرعتان متساويتان وكل منها تساوي سرعة الضوء c والتي تعطى بالعلاقة :

$$C = f.\lambda_c$$

وسرعة الانتشار الفعلية للموجة الفعلية المرشدة هي $v_g = c.\mathrm{Sin}\,\theta$

وسرعة الموجة للموجة في نفس الاتجاه هي :

$$v_p = f.\lambda_p = f.\frac{\lambda_c}{\sin\theta}$$

$$v_p = f.\frac{\frac{c}{f}}{\sin\theta} = \frac{c}{\sin\theta} \qquad (٢)$$

نستنتج أنه توجد سرعتان مصاحبتان للموجة الكهرومغناطيسية المرشدة في اتجاه انتشارها .

١- السرعة الفعلية للموجة المرشدة v_g (وتسمى سرعة المجموعة) وهي تمثل سرعة نقل الطاقة في اتجاه انتشار الموجة ووجهها

٢- السرعة التي تغير بها الموجة وجهها في اتجاه انتشارها وتسمى سرعة الوجه(Phase Velocity).

نلاحظ أن سرعة الوجه v_p تتعدى سرعة الضوء c ، ويمكن إيجاد العلاقة بين سرعة المجموعة وسرعة الوجه وسرعة الضوء كالآتي:

$$v_g\, v_p = c^2 \qquad (٣)$$

٣. دليل الموجة ذو المستويين المتوازيين :

الإشارة من المصدر ترتب نفسها بحيث إن المسافة بين الجدارين تصبح مساوية للمضاعفات الصحيحة لنصف الطول الموجي العمودي .

$$a = \frac{3\lambda_n}{2} \qquad a = \frac{2\lambda_n}{2} \qquad a = \frac{\lambda_n}{2}$$

أي أن λ_n الطول الموجي في الاتجاه العمودي

٤. الطول الموجي للقطع(Cut-off wavelength)

يحسب الطول الموجي للقطع من خلال ثابتة الوجه للقطع k_c :

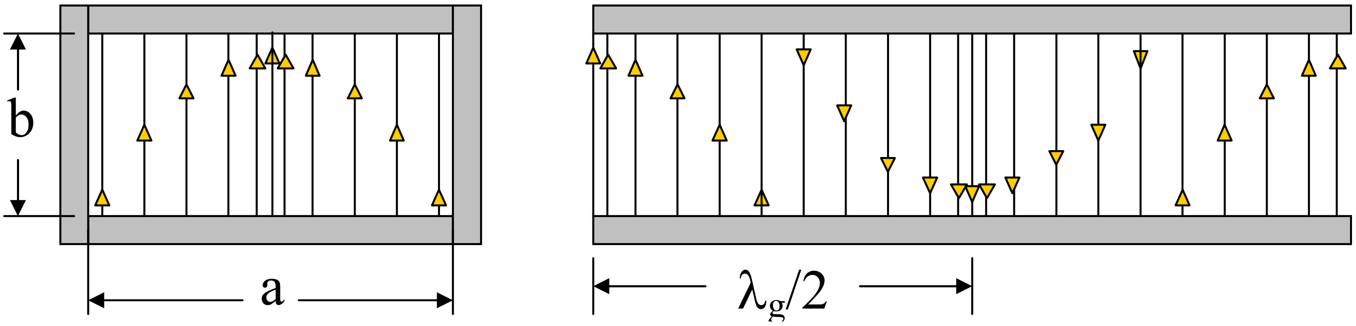
$$k_c = 2\pi / \lambda_c = \sqrt{\left(\frac{m.\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n.\pi}{b}\right)^2} \qquad (٤)$$

حيث الثابتتان **m** و **n** هما عددان صحيحان كل زوج منهما يمثل أسلوباً معيناً للموجة

يمكن تعريف الطول الموجي للقطع : بأنه الطول الموجي في الفضاء الحر الذي عنده أو بعده لا تستطيع الإشارة أن تنتشر في مرشد موجة بأسلوب انتشار معين ($TE_{m,n}$) أو ($TM_{m,n}$)

٥.أساليب الانتشار:

أساليب الانتشار في الدليل المستطيلي للموجة المستعرضة كهربائياً ووصفها بالرمز $TE_{m,n}$ والموجة المستعرضة مغناطيسياً يستخدم الرمز $TM_{m,n}$ حيث m تمثل عدد أنصاف الموجة و n تمثل عدد أنصاف الموجة التي تنشأ على طول الضلع الأصغر b (المحور y) و m التي تنشأ على طول الضلع الأكبر a (المحور x) ، شكل ٦ يبين توزيع المجال الكهربائي للأسلوب $TE_{1.0}$ في هذا الأسلوب توزيع المجال الكهربائي في اتجاه x هو نصف موجة (m = 1) ويأخذ المجال قيمة عظمى عند المنتصف وتنخفض قيمته إلى الصفر عند الجدارين الموازيين له بينما في الاتجاه لا يكون التوزيع للمجال الكهربائي منتظماً ، أي يأخذ المجال قيمة ثابتة في هذا الاتجاه انظر شكل ٦



شكل ٦ : الأسلوب TE_{10} في الدليل المستطيلي .

الأساليب TE :

١. هذه الأساليب لا تستخدم الجدارين العريضين للمرشد المستطيلي .
٢. تحدث الانعكاسات بين الجدارين الضيقين .
٣. يمكن إيجاد ممانعة الموجة المميزة لهذا الأسلوب

$$Z_{TE} = \frac{Z_o}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_c}{\lambda_o}\right)^2}} \qquad (٥)$$

حيث Z_o المعاوقة الذاتية للفضاء الحر $Z_o = 377\ \Omega$

الممانعة المبينة للموجة للأسلوب $TE_{m,0}$ تزيد مع زيادة الطول الموجه للإشارة في الفضاء الحر وهي دائماً أكبر من المعاوقة الذاتية للفضاء الحر بالتالي لكل أسلوب انتشار $TE_{m,0}$ معاوقة موجة ذاتية .

الأساليب $TE_{m,n}$:

١. نادراً ما تستخدم

٢. المعادلة للطول الموجي للقطع يجب أن تعدل وذلك بسبب استخدام جدارين آخرين لتصبح :

$$\lambda_c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n}{2b}\right)^2}} \qquad (٦)$$

الأساليب $TM_{m,n}$:

١. الاختلاف بين أساليب الانتشار $TE_{m,n}$ وأساليب الانتشار $TM_{m,n}$ هو أنه في الحالة الأولى المجال المستعرض هو الكهربائي ، بينما في الحالة الثانية المجال المستعرض هو المغناطيسي .

٢. أساليب الانتشار العالية (مثلاً $TM_{9,5}$ ، $TM_{3,7}$) تحتاج إلى أبعاد كبيرة لمساحة المقطع للدليل لكي تنتشر .

٣ . غالباً ما يستخدم الأسلوب الغالب $TE_{1,0}$ ، الأساليب الأخرى تستخدم في التطبيقات الخاصة ، ذلك يرجع إلى بعض الأساليب أهمها :

- سهولة الإثارة (التوليد) للأساليب المنخفضة .
- استخدام أدلة موجة بأبعاد أصغر .
- يتميز الأسلوب الغالب $TE_{1,0}$ بأنه يمكنه الانتشار في دليل موجة ذات أبعاد صغيرة

بحيث لا يمكن للأساليب الأخرى أن تنتشر فيه لنفس الطول الموجي للإشارة .

وتوجد مزايا للأساليب العالية ، فمن الممكن استخدام دليل بأبعاد كبيرة بحيث يسمح بنقل إشارات مختلفة آنياً لها نفس التردد من خلاله باستخدام أساليب انتشار مختلفة .

مثال

احسب الطول الموجي للقطع لدليل مستطيلي له نسبة باعية ١ : ٢ (قياسي) لكل من الأساليب التالية : $TE_{1,1}$ ، $TM_{1,1}$ ، $TE_{2,0}$ ، $TE_{1,0}$.

الحل :

$$\lambda_c = \frac{2a}{m} = 2a \quad * \quad \text{TE}_{1,0}$$

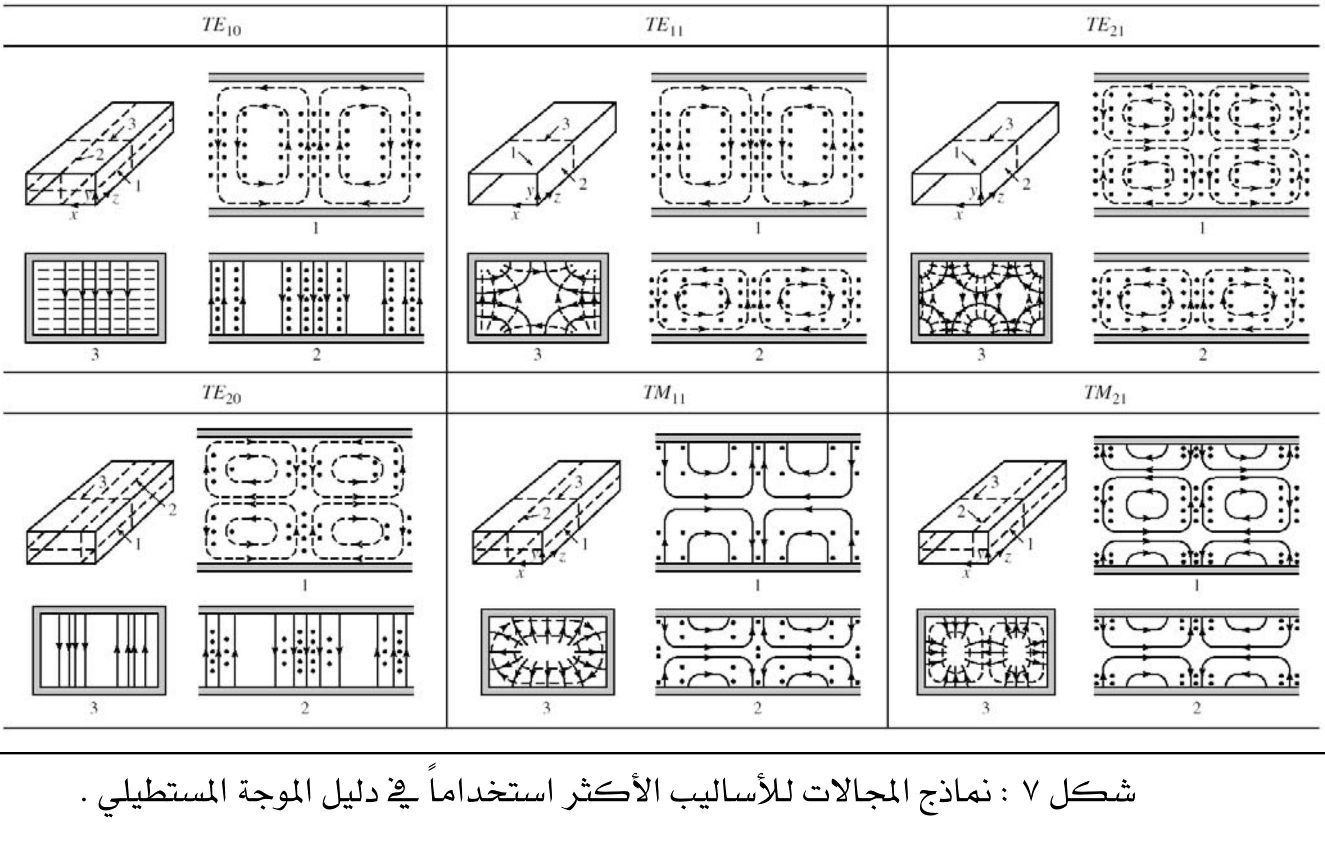
$$\lambda_c = \frac{2a}{m} = a \quad * \quad \text{TE}_{2,0}$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m.}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n.}{2b}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1.}{2a}\right)^2 + \left(\frac{.1}{2\frac{a}{2}}\right)}} = \frac{2a}{\sqrt{5}} \quad * \quad \text{TE}_{1,0} \ \ \text{TM}_{11}$$

$$Z_{TE} = \frac{Z_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_c}{\lambda_o}\right)^2}}$$

- نلاحظ أن الطول الموجي للقطع للأساليب المنخفضة $\text{TE}_{1,0}$ ، $\text{TE}_{2,0}$ أكبر من الطول الموجي للقطع للأساليب الأعلى $\text{TM}_{1,1}$ $\text{TE}_{1,1}$ وذلك يعني أن الأساليب العالية تحتاج إلى أبعاد للدليل لكي تنتشر خلاله .

٦. نماذج المجال Field Patterns :



شكل ٧ : نماذج المجالات للأساليب الأكثر استخداماً في دليل الموجة المستطيلي .

شكل ٧ يبين النموذج الناشئ لكل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي للأسلوب داخل الدليل .

١) المجال الكهربائي له مركبة واحدة بينما المجال المغناطيسي له مركبتان .
٢) يصل المجال الكهربائي قيمته العظمى عند مركز الدليل .
٣) المجال المغناطيسي خطوطه على شكل حلقات مغلقة تقع في المستويات العمودية على المجال الكهربائي بالتوازي مع الجدارين العلوي والسفلي .
٤) المجال الكهربائي والمغناطيسي يرحل داخل دليل الموجة في اتجاه الانتشار بسرعة مجموعة v_g
٥) المسافة بين أي نقطتين متتاليتين متماثلتين في اتجاه الانتشار تمثل الطول الموجي للدليل λ_p

نموذج المجال للأسلوب $TE_{2.0}$ ، يماثل النموذج السابق فيما عدا أنه يوجد تغير لنصفي موجة للمجال الكهربائي في المستوى x ، y .

بالنسبة لنموذج المجال للأسلوب $TE_{1.1}$:

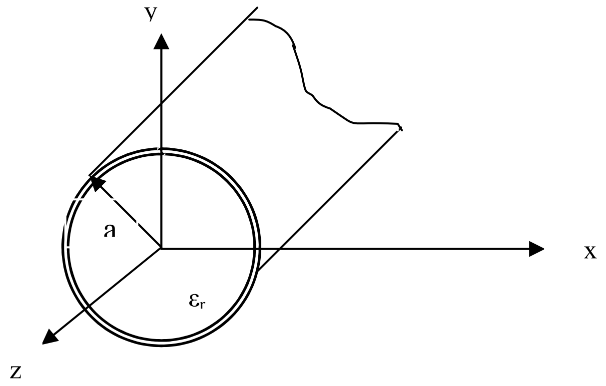
١) المجال الكهربائي يشبه بيت العنكبوت .
٢) يوجد تغير لنصف موجة للمجال الكهربائي على كل من الاتجاهين y ، x .
٣) يصل المجال الكهربائي قيمته العظمى في مركز الدليل .
٤) المجال المغناطيسي يماثل نظيره في الأساليب $TE_{m,0}$.

أما بالنسبة لنموذج المجال للأسلوب $TM_{1.1}$.

١) المجال الكهربائي خطوطه قطرية والمجال المغناطيسي خطوطه حلقية .
٢) في هذا الأسلوب المجال الكهربائي له مركبتان أحدهما في اتجاه الانتشار والأخرى عمودية على اتجاه الانتشار ، بينما المجال المغناطيسي له مركبة واحدة فقط .

ملحوظة : نلاحظ أن المجال الكهربائي يجب أن ينتهي عمودياً مع الجدران ، وأن خطوط المجال المغناطيسي وخطوط المجال الكهربائي دائماً متعامدة .

الباب الثاني: دليل الموجة دائري المقطع Circular waveguides :



شكل ٨ : دليل الموجة دائري المقطع

١) المعادلات (١) (٢) (٣) (٥)نلاحظ أن هذه المعادلات لا تعتمد على الشكل الهندسي ، بالتالي هذه المعادلات تنطبق على الدليل دائري المقطع .

معادلة الطول الموجي(٦) تتوقف على الشكل الهندسي للمقطع العرضي لدليل الموجة .

لدليل الموجة الدائري المقطع ، الطول الموجي للقطع يعطى بالعلاقة :

$$\lambda_c = \frac{2\pi r}{\delta_{mn}}$$

حيث : r - نصف القطر (الداخلي) للدليل

δ_{mn} - عامل يعتمد على أسلوب الانتشار

جدول١ قيم (δ_{mn}) المناظرة لأساليب الانتشار الأساسية في دليل الموجة الدائري

TE			
mode الأسلوب	(δ_{mn})	mode الأسلوب	(δ_{mn})
$TE_{0.1}$	3.83	$TE_{0.2}$	7.02
$TE_{1.1}$	1.84	$TE_{1.2}$	5.33
$TE_{2.1}$	3.05	$TE_{2.2}$	6.71
TM			
$TM_{0.1}$	2.40	$TM_{0.2}$	5.52
$TM_{1.1}$	3.83	$TM_{1.2}$	7.02
$TM_{2.1}$	5.14	$TM_{2.2}$	8.42

جدول ١ يعطي قيم (δ_{mn}) المناظرة لأساليب الانتشار الأساسية في دليل الموجة الدائري .

مثال:

احسب الطول الموجي للقطع ، والطول الموجي المرشد ، ومعاوقة الموجة الذاتية ، لدليل دائري المقطع له قطر داخلي 4 cm لإشارة 10GHz تنتشر بالأسلوب $TE_{1,1}$ في الدليل .

الحل :

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8}{10.10^9} = 0.03m = 3cm$$

من الجدول (1) للأسلوب $TE_{1.1}$ $(\delta_{mn}) = 1.84$

$$\lambda_c = \frac{2.\pi.r}{\delta_{mn}} = \frac{2.\pi.\frac{4}{2}}{1.84} = 6.83\,cm$$

$$\lambda_p = \frac{\lambda_o}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_o}{\lambda_c}\right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{6.83}\right)^2}} = 3.34\,cm$$

$$Z_{TM} = \frac{Z_o}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_o}{\lambda_c}\right)^2}} = \frac{120\pi}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{6.83}\right)^2}} = 420\Omega$$

الباب الثالث : الاختلافات بين الدليل الدائري والدليل المستطيلي :

١. أكبر طول موجي للقطع يناظر أصغر قيمة للعامل (δ_{mn}) وهي 1,84 ، بالتالي الأسلوب الغالب في المرشد الدائري هو الأسلوب $TE_{1,1}$ (بينما في المرشد المستطيلي الأسلوب الغالب هو $TE_{1,0}$) .

٢. المرشد الدائري المقطع العرضي له دائرة ، بالتالي العدد الصحيح m يمثل على عدد الأطوال الموجية الكاملة لتغيير المجال قطرياً من المركز إلى الجدار .

عيوب الدليل الدائري :

مساحة المقطع العرضي للمرشد الدائري أكبر من مساحة المقطع العرضي للدليل المستطيلي المستخدم لحمل نفس الإشارة .

مثال:

احسب النسبة بين مساحة المقطع الموجي لدليل دائري ومساحة المقطع العرضي لمرشد مستطيلي لهما نفس الطول الموجي للقطع للأسلوب الغالب (افترض أن المرشد المستطيلي قياسي) .

الحل :

الأسلوب الغالب للدليل الدائري هو $TE_{1,1}$:

$$\lambda_c = \frac{2.\pi.r}{\delta_{mn}} = \frac{2.\pi r}{1.84} = 3.415.r\,[cm] \Rightarrow r = \frac{\lambda_c}{3.415}$$

مساحة المقطع العرضي للمرشد الدائري :

$$A_c = \pi \,.\, r^2 = \pi\,\lambda_c^2 / 3.415^2 = 0.256\,\lambda_c^2$$

للدليل المستطيلي الأسلوب الغالب هو $TE_{1,0}$:

مساحة المقطع العرضي للدليل المستطيلي القياسي (1 : 2) :

$$A_r = a.b = a.\frac{a}{2} = \frac{a^2}{2}$$

$$\frac{A_c}{A_r} = \frac{0.317.\lambda_c^{\,2}}{o.125.\lambda_o^{\,2}}$$

نلاحظ أن المساحة التي يشغلها الدليل المستطيلي تكون أقل من المساحة التي يشغلها الدليل الدائري . ذلك يعتبر أحد مساوئ المرشد الدائري .

مزايا الدليل الدائري وتطبيقاته :

١) الدليل الدائري يتميز بسهولة التصنيع وسهولة وصله ببعضه .

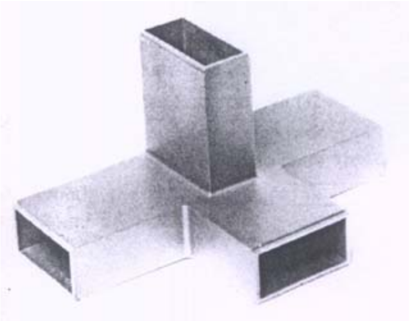
٢) التطبيق الأساسي للدليل الدائري هو استخدامه في الوصلات الدوارة مثلاً (بين هوائي متحرك ودليل الموجه الأساسي) .

ويفضل استخدام الأسلوب TM_{11} عن الأسلوب TE_{01} نظراً لأنه يحتاج إلى قطر أصغر لنفس الطول الموجي للقطع .

٣) يتميز الأسلوب TE_{01} بأنه إذا تعدى تردد التشغيل 10 GHz فإن هذا الأسلوب له أقل توهين ، هذه الميزة تظهر أهميتها عند استخدام دليل الموجة لنقل الإشارة لمسافات طويلة

الباب الرابع : عناصر دليل الموجة الغير الفعالة

١. وصلة دليل موجي على شكل حرف T (waveguide T-junction) :

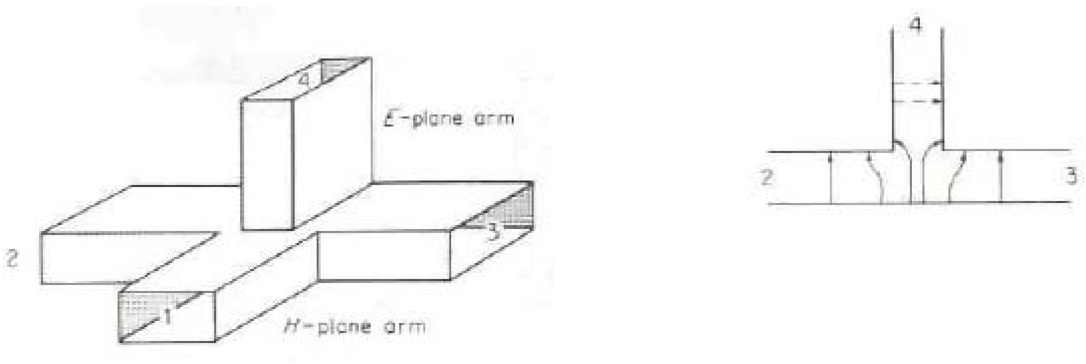


شكل ٩ : وصلة T السحرية

أ- وصلة T في المستوى E (E-Plane)

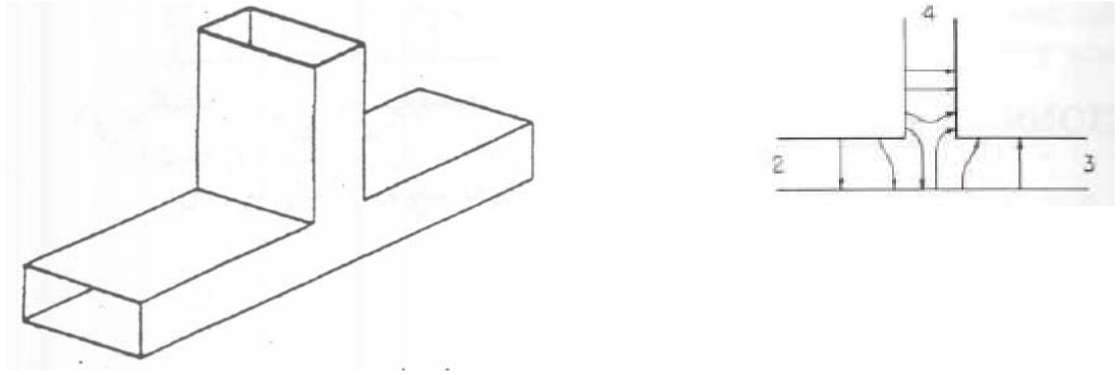
محور الذراع الجانبي (Port2) موازي المجال الكهربائي الموجود في الدليل الموجي الرئيس (Port3)

عند تغذية الدخل١ بموجات كهرومغناطسية من نمط TE_{10} فنحصل على موجة في الخرج ٢ و٣ ولا نحصل على موجة على الخرج ٤ في هذه الحالة لا يوجد ترابط بين ذراع ١ وذراع ٤ و الترابط بين ١ و ٢ من جهة و ١ و ٣ من جهة أخرى هو بنفس السعة و الطور.



شكل ١٠ : تغذية المدخل ١ بموجة من نوع E

وعند تغذية الدخل ٤ بموجة كهرومغناطسية نمط TE_{10} فإنه لايوجد ترابط مع الدخل ١ بينما يوجد ترابط مع الذراعين ٢ و ٣ و لكن بفارق في الطوربـ١٨٠ درجة بنفس السعة.



شكل ١١ : تغذية المدخل ٤ بموجة من نوع E

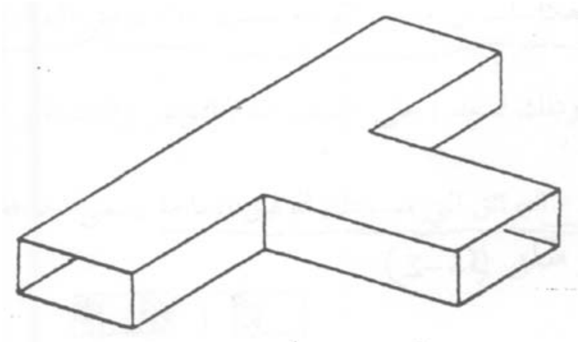
ب- وصلة T في المستوى H :

عند تغذية الدخل١ بموجات كهرومغناطسية من نمط TM فنحصل على موجة في الخرج ٢ و٣ ولا نحصل على موجة على الخرج ٤ في هذه الحالة لا يوجد ترابط بين ذراع ١ وذراع ٤ و الترابط بين ١ و ٢ من جهة و ١ و ٣ من جهة أخرى هو بنفس السعة و الطور.

وعند تغذية الدخل ٤ بموجة كهرومغناطسية نمط TM فإنه لايوجد ترابط مع الدخل ١ بينما يوجد ترابط مع الذراعين ٢ و ٣ و لكن بفارق في الطوربـ١٨٠ درجة بنفس السعة.

ت- وصلة T المختلطة (السحرية) Magic T :

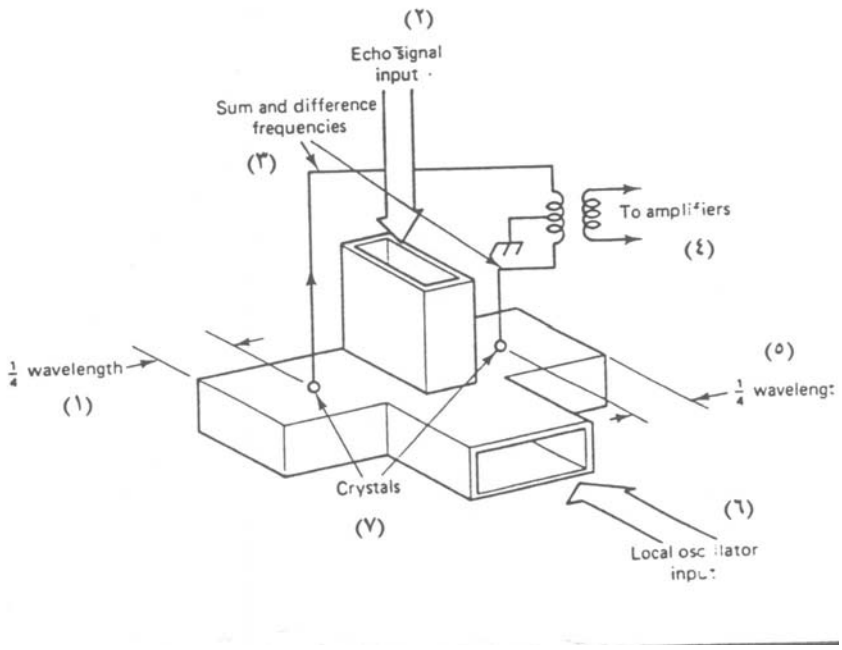
تعتبر الوصلة T المختلطة هي تركيبة من ذراعين ذراع في المستوى E و ذراع في المستوى H السابق ذكرهما التي تتمتع بالخصائص التالية :



شكل ١٢ : تغذية الوصلة T بموجة من نوع H

١. في حالة توفر موجتين بنفس السعة و الطور في مداخل ١ و ٢ يسجل الخرج ٤ مجموع الموجتين و الخرج ٣ لاشيء. في هذه الحالة تشتغل الوصلة كمجمع للموجات.
٢. إذا توفرت موجة في المدخل ٤ فهذه الموجة ستنقسم إلى قسمين متساويين على الخرجين ١ و ٢ ، ولايظهر شيء في الخرج ٣ . في هذه الحالة تشتغل الوصلة كمقسم للموجات.
٣. اذا غذينا الدخل ٣ بموجة كهرومغناطسية نتحصل على نفس الموجة في الخرج ١ و ٢ بنفس السعة والطور متعاكسة و لا يظهر شيء في خرج ٤. في هذه الحالة تشتغل الوصلة كموزع للموجات.

و تستعمل الوصلة T في دوائر المازج في أجهزة الاستقبال الخاص بنظام الرادار لمزج الإشارة الداخلية أو معلومات الهدف الموجودة بترددات المايكروويف بتذبذب مايكروويف ذي قدرة منخفضة مستمر. ويعطي المازج جمع وفرق الإشارتين الداخلتين ، وهما ترددي إشارتي المذبذب المحلي والصدى. والمطلوب هو الفرق ، حيث إنه تردد منخفض في هذه الحالة و على قمته معلومات الصدى والتي يمكن تكبيرها بواسطة مكبرات معتادة . الشكل أسفله يوضح هذا المازج المتوازن أو المهجن. والثنائيات تلامس النقطة توجه في دليل الموجة على بعد ٤/١ طول الموجة من نهاية دليل الموجة .

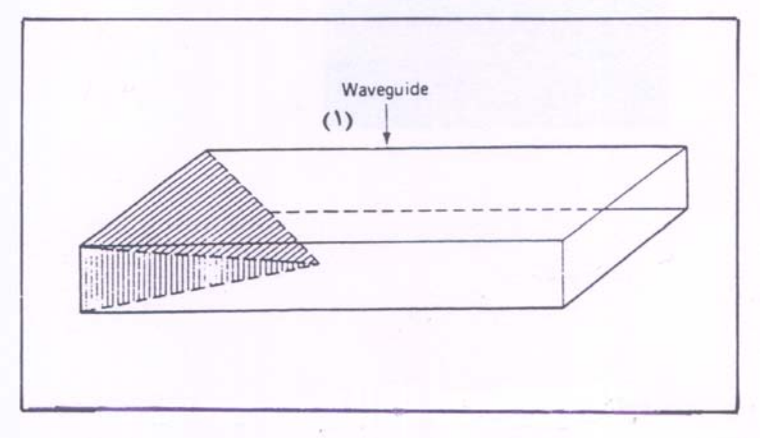


الشكل 13 : المازج المتوازن أو المهجن

و توضع كلتا إشارتي المذبذب المحلي والصدى في المازج في نفس الوقت وستوجد حالة عندما تكون الإشارتان الموضوعتان في نفس الوجه على المدخل ١ ومختلفتي الطور عند المدخل ٢ والعكس صحيح. والنتيجة النهائية أن كلا جمع وفرق إشارتي الدخل سيتم جذبه من المازج ويربط بمحول بمدخل أول مرحلة تكبير. وهناك سينتقي المكبر الفرق بواسطة التوليف.

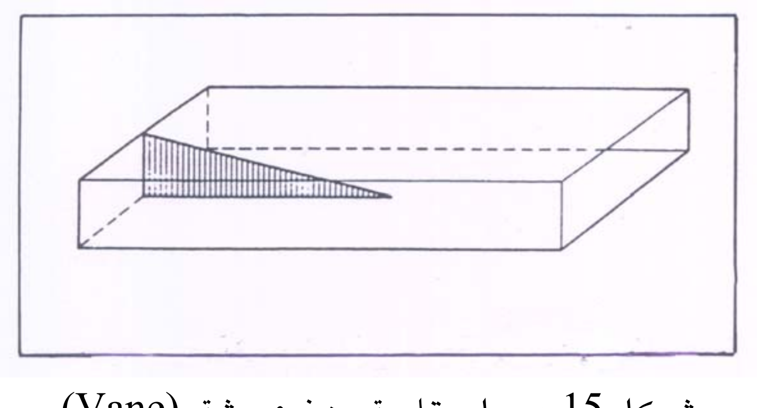
٢. موهنات دليل الموجة :

قد يكون في بعض الحالات من المرغوب التقليل من الطاقة المولدة الموصلة للحمل عن طريق الدليل الموجي. في هذه الحالة تستعمل الموهنات لامتصاص جزء من تلك الطاقة . والحمل الصناعي أو الحمل اللاوهمي (Dummy) يظهر خواص الهوائي ولكنه غير مشع، أي أنه يستهلك كل الطاقة المغذاة له. الشكل ١٣ يوضح أن الحمل الهرمي يقل تدريجيا ، حيث يؤكد شكله الهرمي عدم وجود انعكاسات للخلف في دليل الموجي.



شكل 14 : حمل مقاومة من النوع الهرمي

شكل ١٤ يبين نوع جناح للهوائي الصناعي، والذي يعطي نفس النتائج لاستهلاك كل الطاقة ويمنع الانعكاسات. وكلا الأحمال الهرمية و جناح الدمية مبطنة بمادة مقاومة والتي تعطي كمية كبيرة من الحرارة عند وضع قدرة كبيرة على الدليل الموجي. والأحمال الدمية المصممة لاستهلاك كميات كبيرة من القدرة تبرد عادة بالماء أو الزيت. وعند اختيار معدة مايكروويف ، تنشأ مشكلة عندما تعمل معدة الاختبار على المداخل بالمليوات، والمعدة التي تم اختبارها تشع قدرة معدلها بالوات. وبدون شك ستحترق معدة الاختبارأو ستفصل نفسها ، وبالتالي لن تراقب القوة الداخلية.



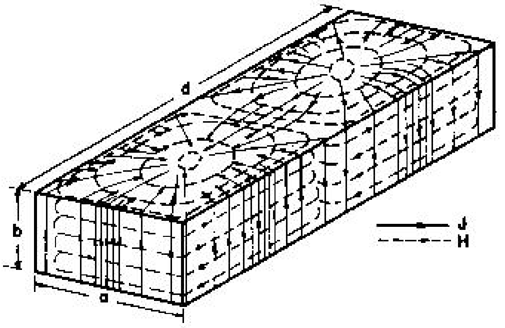
شكل 15 : حمل مقاومة من نوع ريشة (Vane)

وللتغلب على المشكلة ، تستعمل موهنات متغيرة يستعمل فيها عازل مبطن بمادة مقاومة (Resistive materiel) مثل المبينة في الشكل x.x وفي كلا الشكلين يوضع العازل في مسار مجال E مسببا الوهن، وبالتالي فقد قدرة. ويعتمد الفقد الكلي على طول الموهن ، وعلى الكمية

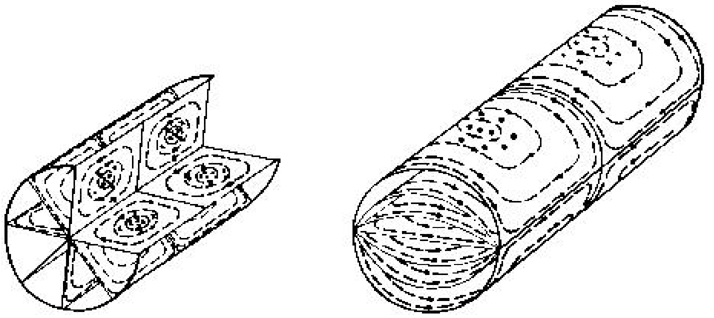
الداخلة في دليل الموجة، ومادة المقاومة المستعملة وهذه الموهنات (Attenuators) تصنف الإشارة بدءا من عدم وجودها (صفر ديسيبل)، وحتى 1/1000 من القدرة (٣٠ ديسيبل).

٣. **فجوات الرنين** (Cavity Resonators) :

هي عبارة عن صندوق من معدن جيد التوصيل (عادة يصنع من نحاس بدون أكسيجين (Oxygen Free Copper) تكون أبعاده متناسبة مع طول الموجة (مكررات ربع طول الموجة) و يكون شكله اما مستطيلاً او أسطوانياً. و ذلك لسهولة حساب المجال الكهربائي و المغناطيسي في هذه البنية .



شكل16 : فجوة الرنين في شكل مستطيل



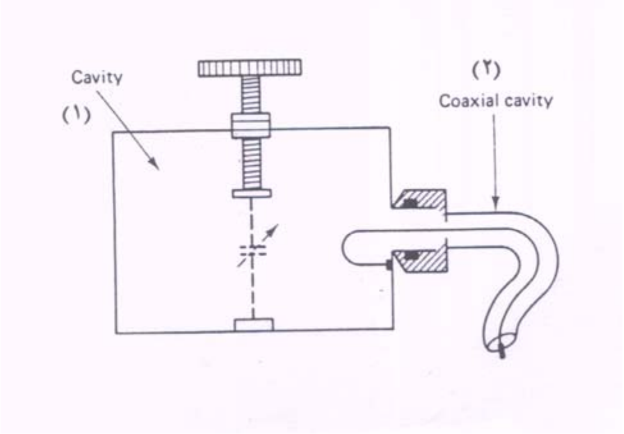
شكل١٧ : فجوة الرنين في شكل اسطواني

في حالة الرنين تكون الفجوة قادرة على الاحتفاظ بترددات المايكروويف في حالة دائمة. بحيث تتولد موجات مستقرة (Standing Waves) داخل الصندوق نتيجة إلى الانعكاس المتعدد أو المتكرر على جدران الصندوق.

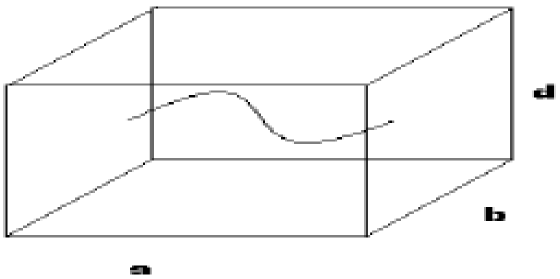
وتحدد أبعاد الصندوق نمط و تردد الموجة :

$$f = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right) + \left(\frac{p}{d}\right)}$$

حيث c هي سرعة الضوء و m,n,p هي أعداد كاملة تحدد نمط الموجة و a,b,c أبعاد الصندوق حسب ما هو مبين في الشكل التالي :



شكل ١٩ : التوليف السعوي للفجوة



شكل ١٨ : فجوة رنين مغلقة

معامل الجودة :

يعرف معامل الجودة في فجوة الرنين الذي يرتبط بالفقد في الفجوة على أنه مقام كالآتي :

$$f = \frac{f}{\Delta f}$$

f – تردد الرنين

Δf- عرض نطاق الرنين

و بما أن الطاقة تختزن في حجم فجوة الرنين و تستهلك جزءا منها في سطح الفجوة (Losses) فبالتالي الفجوة التي تعطي أعلى نسبة حجم على مساحة السطح تكون لها أعلى معامل الجودة .

$$Q = \frac{Vol}{(Area)\delta}$$

Vol- الحجم

Area - السطح

δ- عمق تيار الجلد Skin Depht

التطبيقات : تستعمل فجوة الرنان كدائرة رنين عند ترددات المايكروويف و تستخدم كالتالي :

- دائرة توليف لدخل و خرج المكبرات
- دائرة توليف للترشيح
- دوائر توليف المستعملة في دوائر المازج
- في قياس خواص المواد بطريقة تعكير حالة الفجوة (Cavity Perturbation) .

تقنيات الماكروويف و الأقمار الصناعية

صمامات ومولدات الموجات الدقيقة

الوحدة الثالثة :صمامات ومولدات الموجات الدقيقة

الأهداف :

تمكن هذه الوحدة المتدرب من التعرف على مولدات الموجات الدقيقة بكامل أنواعها بداية من الصمامات ذات الترددات العالية و القوة الكبيرة إلى الترانزيستور بكامل أنواعه مرورا بالثنائي واستعمالاتها في العديد من التطبيقات الحديثة التي لا غنى للمتدرب عن معرفتها .

وعند نهاية هذه الوحدة يكون المتدرب قد تمكن من المعرفة التالية :

- استيعاب مدلول تسميات أنواع المولدات وتطبيقاتها في تقنية الاتصالات .
- التعرف على قرب عن استعمالات هذه المولدات في مجال الماكروويف وتحديدا في الاتصالات

مقدمة :

يمكن تقسيم صمامات الموجات الدقيقة إلى ثلاثة أنواع :

١- الصمامات ذات الشبكات (الترددات العالية) الصمام الثلاثي .

٢- الصمامات التي يحدث فيها تفاعل وجيز ، والذي يمثل هذا النوع هو صمام الكليسترون .

٣- الصمامات التي يحدث فيها تفاعل متواصل ، ويمكن تقسيم هذا النوع إلى مجموعتين فرعيتين :

أ- في المجموعة الفرعية الأولى : يستخدم المجال الكهربائي لضمان أن التفاعل الإلكتروني ومجال التردد الراديوي يكون متواصلاً . مثال صمام الموجة الرحالة TWT - Traveling Wave Tube و يستخدم كمكبر كذلك .

ب- المجموعة الفرعية الثانية : تتكون من الصمامات التي فيها يضمن المجال المغناطيسي التفاعل المتواصل بين الشعاع الإلكتروني ومجال التردد الراديوي .مثال : الماجنيترون ، مكبر المجال المتقاطع CFA-Cross Field Amplifier .

مع العلم أنه عند تردد الموجات الدقيقة يكون للصمامات قدرات مخرج أعلى ، بينما لعناصر أشباه الموصلات تكون قدرات الخرج أصغر.

الباب الأول : الصمامات و مكبرات الموجات الدقيقة

الصمام الثلاثي للموجات الدقيقة – قيود التردد عليه .

الصمامات والترانزستورات العادية تصبح عديمة النفع عند ترددات الموجات الدقيقة ولكن بالتصميم المناسب يمكن أن يصل المدى الترددي والمستفاد منه إلى أعلى من العشرات GHz

بارتفاع التردد تعاني الصمامات من القيود التالية :

١. انخفاض ممانعتي الدخل والخرج .

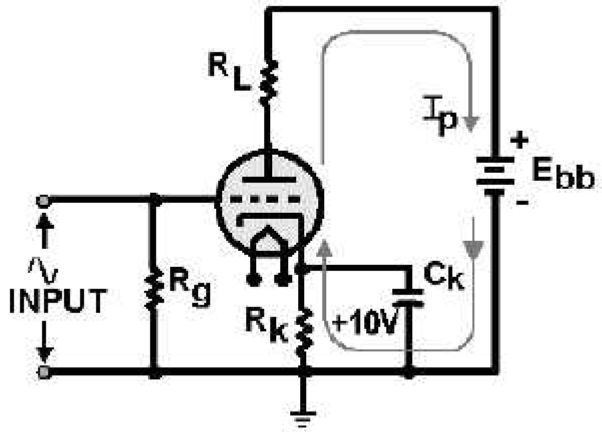
٢. تزيد مقومات ومحاثات التوالي .

٣. يزيد الفقد في العوازل المستخدمة في الصمام وتنخفض كفاءة الصمام .

٤. زمن العبور الذي تستغرقه الإلكترونيات لترحل من قطب إلى آخر في الصمام .

٥. تميل الضوضاء إلى الزيادة مع التردد ، لذلك لا يستخدم في الموجات الدقيقة الصمامات الثلاثية الأقل ضوضاء .

شكل ١ يبين الدائرة المكافئة للصمام الثلاثي .



شكل١

الصمام الثلاثي للتردد ما فوق العالي ودوائره .

إن تخفيض زمن العبور أمر ضروري وذلك لتحقيق تخفيض فقد الشبكة وتخفيض الضوضاء ولتخفيض زمن العبور توضع الأقطاب قريبة من بعضها بقدر الإمكان ، ومما يساعد على تخفيض زمن العبور استخدام فولتية أو تيار عالٍ للأنود (+)

مميزات الصمام الثلاثي :

١. السعة بين الأقطاب الداخلية تتناسب طردياً مع مساحة الأقطاب وعكسياً مع المسافة بينهما.

٢. تخفيض مساحة الأقطاب يؤدي إلى تخفيض القدرة .

٣. هذه الصمامات قادرة على إعطاء قدرة متصلة .

شكل ٢ يبين أحد أنواع الصمام الثلاثي .

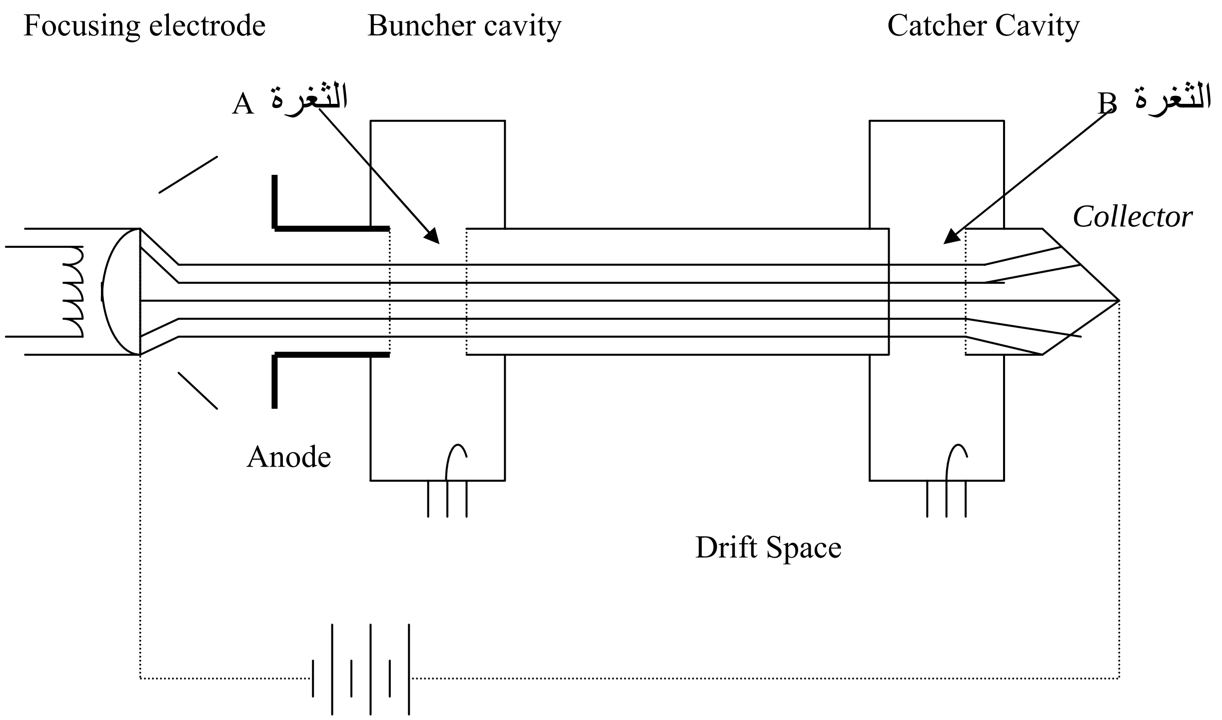
شكل٢ : الصمام الثلاثي

استخدامه :

يستخدم الصمام الثلاثي كمكبر أو كمولد ومن أمثلة الصمام الثلاثي صمام المستويات المتوازية و يسمى ثلاثي المستويات .

الكليسترون متعدد التجاويف

التركيب



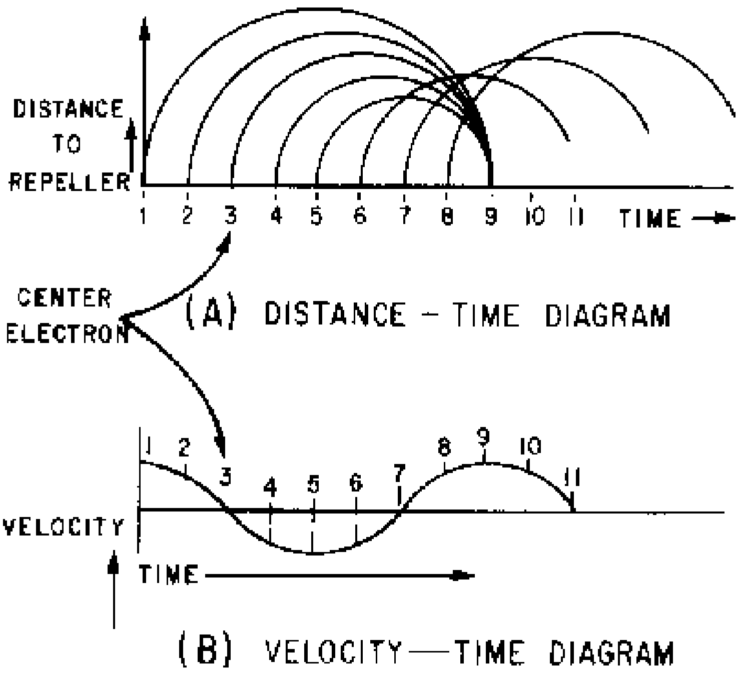
شكل 3 : رسم تخطيطي لمكبر الكليسترون

شكل 3 يبين رسماً تخطيطياً لمكبر الكليسترون ذي تجويفين ، ينشأ (بواسطة مدفع إلكتروني) شعاع إلكتروني ذو سرعة عالية ، يندفع الشعاع على طول الأنبوبة الزجاجية في المجمع والذي جهده يكون موجبا وعالياً بالنسبة إلى جهد الكاثود .

طريقة العمل :

١. الإلكترون الذي يعبر الثغرة A عندما تكون فولتيهما مساوية الصفر وذاهبة إلى الموجب يسمى ((إلكترون أسناد))

كما هو مبين في مخطط أبلجات في الشكل ٤



شكل ٤ : مخطط ابجات

٢. الإلكترون العابر للثغرة عندما تصبح فولتيته موجبة (الإلكترون Z) يسرع فيلحق بالإلكترون الإسناد .

٣. الإلكترون العابر للثغرة عندما تصبح فولتيته سالبة (الإلكترون X) يبطئ فيلحق به كل من Y و Z وبالتالي بمرور الإلكترونات عابرة الثغرة A (تعدل سرعتها) بواسطة التردد الرديوي المطبق على هذه الثغرة .

التطبيقات :

يستخدم الكليسترون في تطبيقين للموجات الدقيقة :

١. كمكبر قدرة متعدد التجاويف .

٢. كمذبذب إشارة مايكروويف ذو تجويفين .

زيادة عدد التجاويف يعمل على تحسين الكفاءة واستفادة القدرة إلى حد كبير .

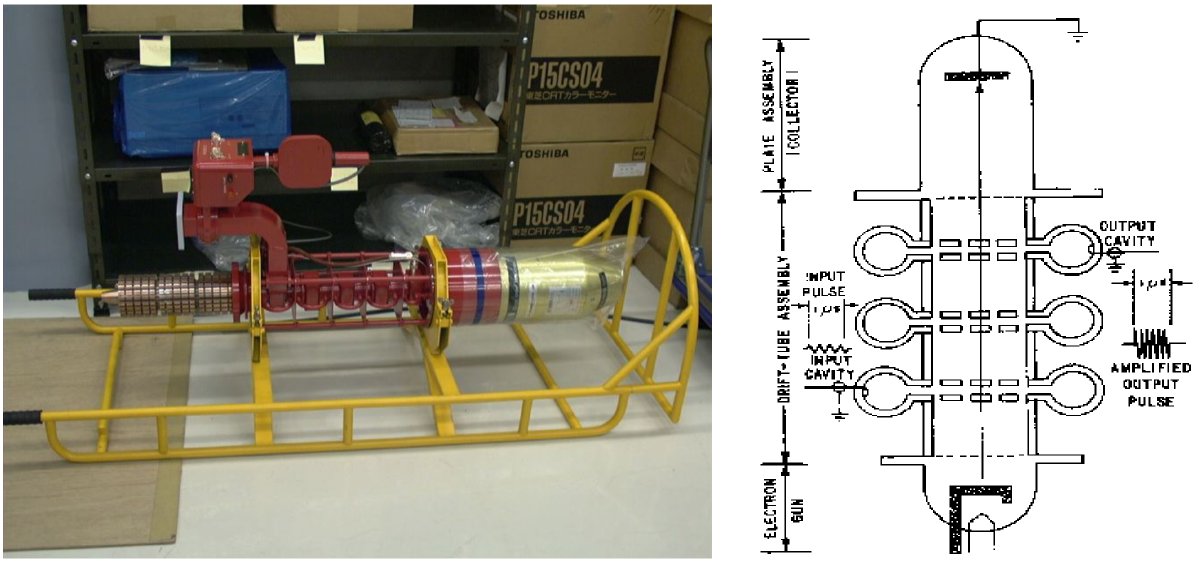
أنواع التوليف :

أ. التوليف المتزامن : تكون التجاويف جميعها مؤلفة عند نفس التردد والمستخدمة في التطبيقات ذات النطاق الضيق .

ب التوليف المترنح : تولف التجاويف البينية على أحد جانبي التردد المركزي مما يحسن من عرض النطاق كثيراً

يستخدم الكليسترون متعدد التجاويف كمكبر قدرة متوسطة أو عالية أو عالية جداً . انظر الشكل ٥.

و من عيوبه أن الكليسترون متعدد التجاويف يعاني من الضوضاء نتيجة عدم اكتمال التحزيم فتصل الإلكترونات عشوائيا إلى التجويف القابض مما يجعل الصمام ذا ضوضاء عالية بحيث لا يمكن استخدامه في المستقبلات ولكنه مناسب للمرسلات .



شكل٥ : كليسترون متعدد التجاويف

الكليسترون الارتجاعي Reflex Klystron

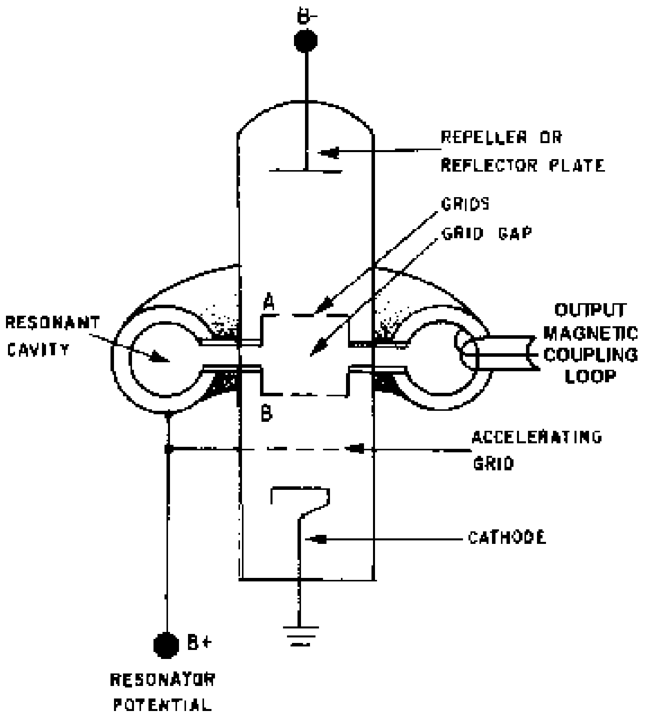
صمام الكليسترون الارتجاعي : هو صمام الكليسترون الذي يحتوي على تجويف واحد فقط والذي خلال ثغرته يمر الشعاع الإلكتروني مرتين .

عيوبه :

منخفض القدرة

منخفض الكفاءة .

انظر شكل ٦ مخطط الكليسترون الارتجاعي .



شكل٦ : الكليسترون الارتجاعي

طريقة عمله :

١. تتجاوز الإلكترونات ثغرة التجويف وتواصل رحيلها في اتجاه القطب التالي والتي لا تصل إليه أبدا فهذا القطب هو المنفر ويطبق عليه فولتية سالبة كبيرة و بالتالي إلكترونات الشعاع تصل إلى نقطة ما في الحيز المنفر . ثم تعود للخلف لتصل في النهاية إلى التجويف الأنودي .

٢. إلكترون الإسناد لا يتأثر ويتجاوز الثغرة وفي النهاية يعود إليها .

٣. الإلكترون المار بالثغرة مبكراً قليلا يلاقي فولتية موجبة فهذا يأخذ فترة زمنية أطول للعودة إلى الثغرة.

الإلكترون المار بالثغرة متأخر قليلاً عن إلكترون الإسناد يلاقي فولتية سالبة عبر الثغرة وهذا يقصر فترة بقائه في حيز التغيير .

زمن العبور :

للإبقاء على التذبذبات يجب أن يكون زمن العبور لحيز التغيير بالقيمة المناسبة

زمن العبور : هو الزمن الذي يأخذه إلكترون الإسناد من لحظة تركه الثغرة إلى لحظة عودته إليها .

بالتالي كحالة عامة يكون زمن العبور المناسب للبقاء على التذبذبات هو :

$$\tau = \left[n + \frac{3}{4} \right] T$$

حيث T : زمن دورة التذبذبات .

n : عدد صحيح

الأساليب :

يتوقف زمن العبور على حالتين .

١. فولتية المنفر .

٢. فولتية الأنود .

- عندما يولف التجويف بالتردد الصحيح فإن زمن العبور ينشأ بشكل صحيح لتحقق زمن دورة T

- كل مجموعة مؤتلفة من القيم المقبولة لفولتية الأنود وفولتية المنفر تسمح بالتذبذب بقيمة معينة من n.

القيم العملية لزمن العبور تقع في المدى $1\frac{3}{4}T$ إلى $6\frac{3}{4}T$ حيث T هي زمن دورة التذبذب .

- الأساليب المناظرة للقيم n = 2 / n = 3 أكثر الأساليب استخداماً في مذبذبات الكليسترون العملية .

مميزات الكليسترون الارتجاعي ذي التجويف المدمج :

١. متاح الترددات الواقعة من حوالي 4GHz إلى حوالي 200 GHz .

٢. قدرة الخرج الفعلية 100 mW .

٣. الكفاءة الفعلية هي 10% لذلك يقتصر عمل المذبذب في تطبيقات القدرة المنخفضة .

٤. يمكن استخدامه لتعديل التردد وذلك بتطبيق فولتية التعديل على المنفر .

في الأجهزة والمعدات الحديثة حلت أشباه الموصلات بدلاً من مذبذب الكليسترون مع ذلك ما زالت توجد أجهزة كثيرة تستخدمه في التطبيقات التالية:

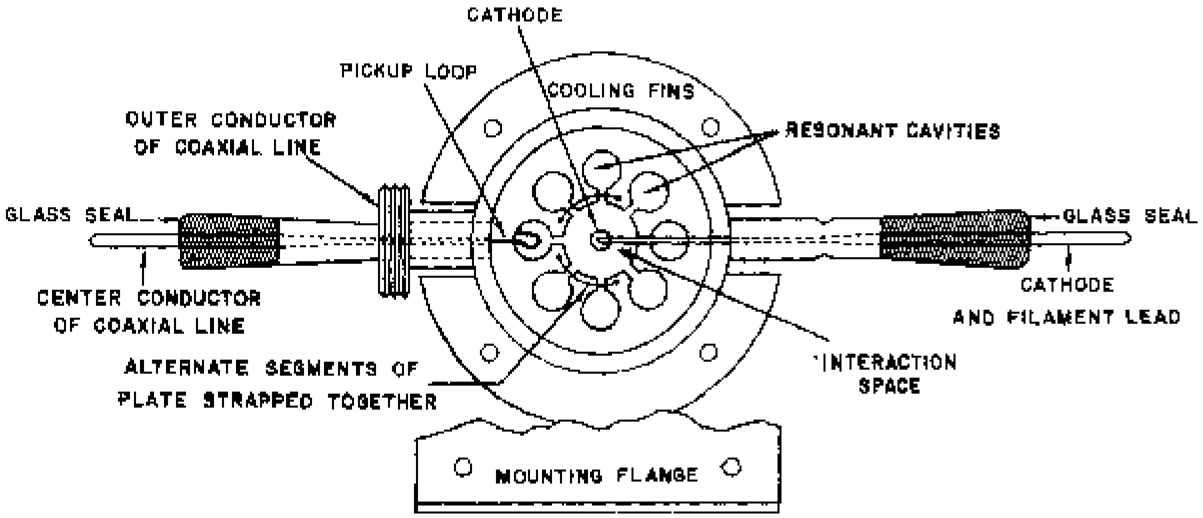
١. مصدر إشارة في مولدات الموجات الدقيقة .
٢. مذبذب محلي في مستقبلات الموجات الدقيقة .
٣. مذبذب معتدل التردد في الربط بالموجات الدقيقة للجوالة .
٤. مذبذب ضخ للمكبرات البارامترية .

الماجنيترون Magnetron :

تعريف :

هو مذبذب موجات دقيقة ذو قدرة عالية وهو ثنائي يستخدم للتفاعل المتبادل للمجالين الكهربائي والمغناطيسي في تجويف مركب لإنشاء تذبذبات ذات قدرة عالية جداً .

تركيب الماجنيترون التجويفي :



شكل٧ : مقطع عرضى للمجنترون

شكل ٧ يبين كاثود أسطواني محاط بأنود ذي تجاويف بتطبيق فولتية مستمرة بين الأنود والكاثود ننشيء مجالاً كهربائياً مستمراً شعاعياً بين الأنود والكاثود. ينشأ المجال المغناطيسي المستمر باستخدام مغناطيس ويكون محورياً حيث تمر خطوط القوى المغناطيسية خلال الكاثود وحيز التفاعل المتبادل المحيط بالكاثود .

تأثير المجالين المغناطيسي والكهربائي :

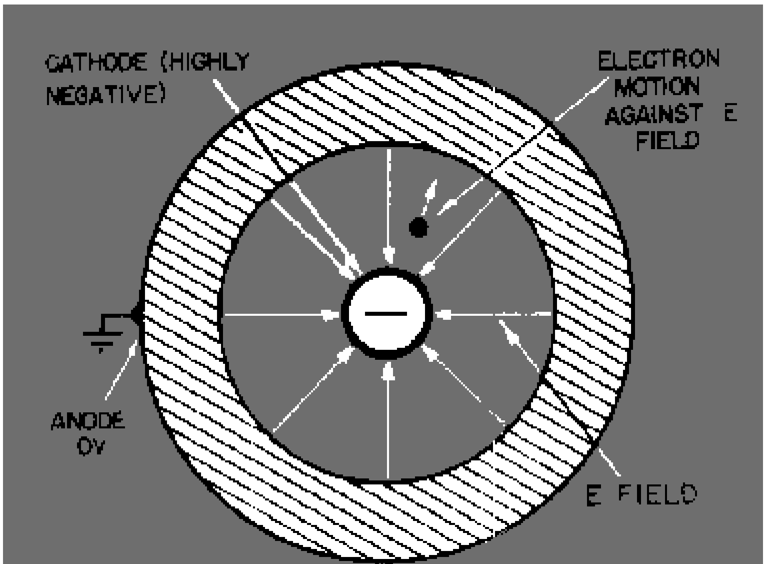
مسارات الإلكترونات في الماجنيترون عند غياب التذبذبات بين تأثير زيادة المجال المغناطيسي :

١. عندما يكون المجال المغناطيسي مساويا للصفر يتحرك الإلكترون في مسار مستقيم من الكاثود إلى الأنود.

٢. عندما يكون المجال المغناطيسي صغيراً فإنه يؤثر بقوة جاذبية على الإلكترون فيحني مساره إلى اليسار.

٣. المجال المغناطيسي اللازم لإرجاع الإلكترونات إلى الكاثود أن يمس الأنود يسمى (مجال القطع)

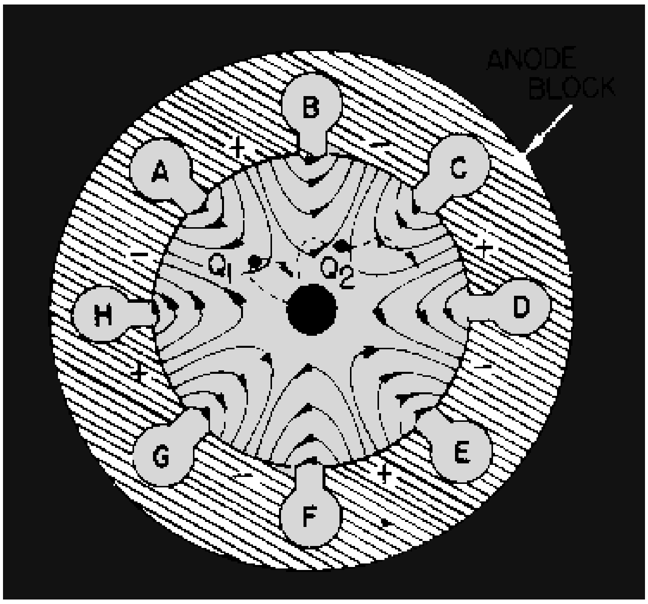
عند هذه القيمة من المجال المغناطيسي ينخفض تيار الأنود إلى الصفر في غياب التذبذبات مما يؤدي إلى عودة جميع الإلكترونات إلى الكاثود فتؤدي إلى التسخين المفرط للكاثود ودمار الصمام . يحدث ذلك لأن المجال المغناطيسي يتعدى بكثير قيمة (مجال القطع) .



شكل ٨ : مسارات إلكترونات في الماجيترون عند غياب التذبذب

عمل الماجنيترون - تذبذبات الأسلوب:

تذبذبات التناغم الذاتي يمكن أن تتواجد فقط إذا كان فرق الوجه بين أقطاب الأنود المتجاورة هي $n\pi/4$ حيث n هي عدد صحيح .



شكل ٩ : مسارات إلكترونات

تأثير المجالات المشتركة على الإلكترونات :

١. عندما يقع الإلكترون A عند النقطة 1 تعارض المركبة للمجال الكهربائي للتردد الراديوي السرعة للإلكترون ، بالتالي يعاق الإلكترون ولمنح الطاقة للمجال .

٢. موقع الإلكترون B يجعله ينتزع قيمة مساوية للطاقة من مجال التردد الراديوي .

- الإلكترون A يقضي وقتاً أطول في مجال التردد الراديوي مما يقضيه الإلكترون B والسبب في ذلك لأن الإلكترون A معاق وبالتالي القوة المؤثرة عليه بواسطة المجال المغناطيسي المستمر تنخفض .

عندما يصل الإلكترون A للنقطة 2 فإنه يصبح مرة أخرى في موقع يمكنه من أن يمنح الطاقة لمجال التردد الراديوي .

- القوة المغناطيسية المؤثرة على الإلكترون A تنخفض أكثر ويحدث تفاعل آخر من نفس النوع عند النقطة 2 .

النتيجة : هذه الطريقة الإلكترونات المؤيدة تقضي وقتاً طويلاً في حيز التفاعل وتكون قادرة على الدوران حول الكاثود .

- الإلكترونات من النوع B تخضع لتعجيل بواسطة مجال التردد الراديوي وبالتالي تقضي فترة زمنية قصيرة في حيز التفاعل المتبادل عما في حالة الإلكترون A

النتيجة : عدد التفاعلات المتبادلة للنوع B يكون أقل بكثير حيث يعود الإلكترون A يعطي طاقة للمجال بصفة تكرارية .

التأثير الحقيقي للإلكترونات (غير المؤيدة) هي عودتها إلى الكاثود حيث تؤدي إلى تسخينه .

التحزيم :

- الماجنيترون التجويفي يؤدي إلى تحزيم الإلكترونات (تأثير تركيز للوجه)
- تحدث بعض الإعاقات للإلكترونات وأيضاً الإلكترون D يعاق مماسياً بواسطة المجال المغناطيسي المستمر بالتالي يلحق به الإلكترون A ويحدث التحزيم .
- الموقع المؤيد هو موقع التوازن إذا انزلق الإلكترون إلى الخلف أو إلى الأمام فإنه وبسرعة يعود إلى هذا الموضع بواسطة تأثير تركيز الوجه .

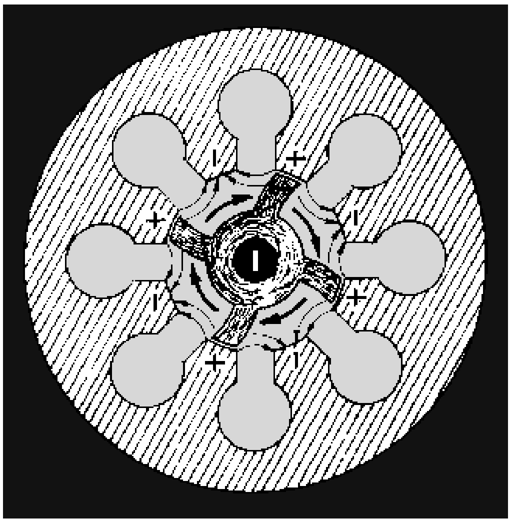
الاعتبارات العملية- التربيط :

- الماجنيترون له ثمانية (أو أكثر) من الرنانات التجويفية المربوطة فمن الممكن التذبذب بأساليب مختلفة .

يحدث القفز نتيجة إلى :

١. ترددات التذبذب للأساليب المختلفة ليست نفسها .
٢. بعض هذه الأساليب تردداتها قريبة جداً من بعضها .

- الماجنيترون التي تستخدم تجاويف متماثلة في جسم الأنود عادة تستخدم التربيط لمنع القفز الأسلوبي .
- يتكون التربيط من حلقتين مصنوعتين من سلك سميك .



شكل ١٠ : سحامات إلكترونات المحزمة

- السبب في فعالية التربيط لمنع القفز الأسلوبي يمكن تبسيطه : طالما أن فرق الوجه بين الأقطاب المتبادلة للأنود تختلف عن 2π وذلك للأساليب الأخرى فإن هذه الأساليب تمنع تماماً .
- لمعالجة مشكلة القفز الأسلوبي يجعل جسم الأنود يحتوي على:

١. نظامان تجويفيين يختلفان في الشكل .

٢. تردد الرنين .

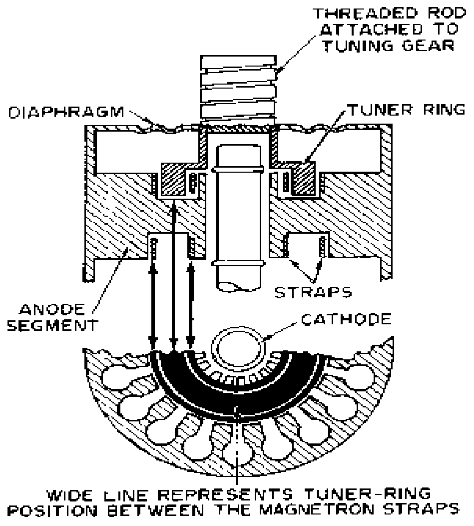
الدفع الترددي والجذب الترددي

الدفع الترددي هو تغير تردد رنين الماجنيترون إلى حد ما بواسطة تغيير فولتية الأنود النتيجة : تغير الفولتية تغير سرعة الإلكترونات وهذا يغير المعدل الذي به تعطى الطاقة إلى رنانات الأنود وبالتالي تغيرات في تردد التذبذب .

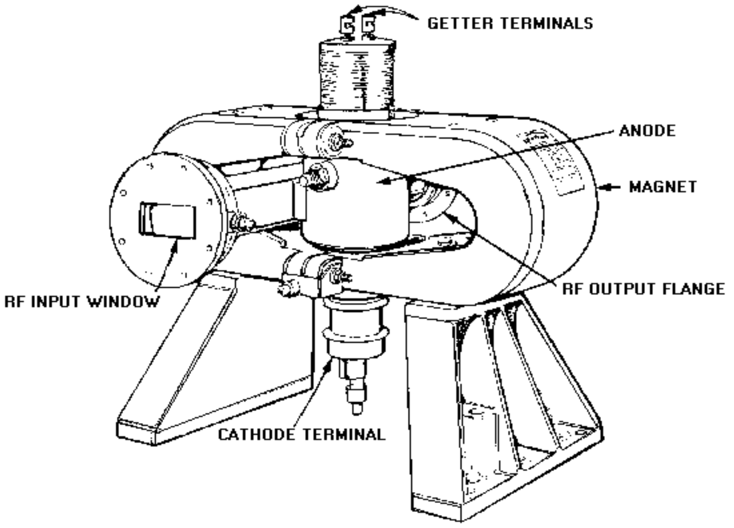
الجذب الترددي : هو تغيرات في التردد يتعرض لها الماجنيترون نتيجة التغيرات في ممانعة الحمل .وهي ناشئة من تغيرات ممانعة الحمل المنعكسة إلى الرنانات التجويفية .

أنواع الماجنيترون :

١. ماجنيترون الريش للمروحية المبين في شكل ١١ أ



شكل ١١أ : الماجنيترون الريش



شكل ١١ب : الماجنيترون الريش

مميزاته :

أ. بناءة معدني – سيراميكي .

ب. يستخدم في الرادار البحري .

ج. الوزن الكلي هو 2 kg

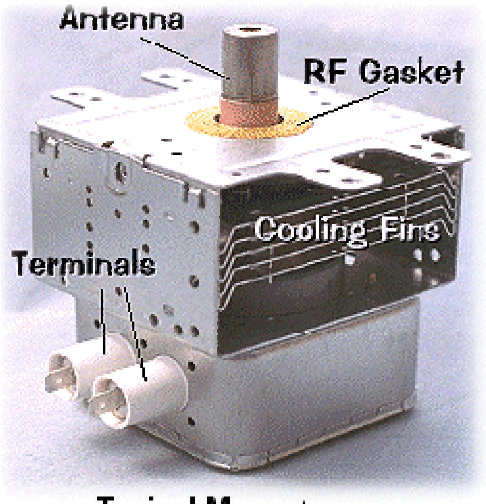
وهناك شكل آخر لماجنيترون الريش المروحية كما هو مبين في شكل ١١ (ب) من مميزاته .

أ. له قدرة عالية .

ب. له أنود يبلغ ثلاثة أضعاف الطول العادي .

ج. يصل ارتفاعه إلى 2m ووزنه 60kg

٢. الماجنيترون المحوري كما هو مبين في شكل ١٢



شكل ١٢ : الماجنيترون المحوري

مميزاته :

أ. معامل الجودة لهذا التجويف أكبر من معامل الجودة للرنانات الأخرى .

ب. التذبذبات في هذا التجويف هي بالأسلوب المحوري TE_{01} .

ج. يلغي القفز الأسلوبي .

د. ينخفض الدفع والجذب الترددي .

هـ. مساحة الأنود الكبيرة تسمح باستهلاك أكبر للحرارة .

و. حجم أصغر لنفس قدرة الخرج .

٣. الماجنيترون ذو التردد الرشيق :

يكون تقليدياً أو محورياً النوع المحوري يستخدم مكبساً يزيد أو ينخفض من حجمه وبالتالي من تردد تشغيله وهذا المكبس يسمح بتغيرات كبيرة وسريعة في التردد .

استخداماته :

يستخدم في الرادار حيث يتطلب إرسال سلسلات من النبضات كل منها عند تردد راديوي مختلف .

٤. الماجنيترون القابل للتوليف بالفولتية متاح للموجة المستمرة بالرغم من كفاءتها المنخفضة .

الأداء والتطبيقات :

التطبيقات التقليدية للماجنيترون هي الرادار النبضي .

المميزات :

أ. مدى القدرة يتراوح من 10kW إلى 5MW .

ب. أقصى قدرة متاحة 10KW في نطاق التردد ما فوق العالي .

ج. الكفاءة تصل إلى 50% .

٥. الماجنيترون القابل للتوليف .

مميزاته :

له قدرة تصل إلى 1000 W .

كفاءته تصل إلى 75% .

استخداماته :

يستخدم في القياس عن بعد والقذائف .

٦. ماجنيترون الموجة المتصلة الثابت التردد .

مميزاته :

أ. ترددات التشغيل حوالي 900MHz إلى 2,5 GHz .

ب.مدى القدرة من 300W إلى ١٠ kW.

كفاءتة تتعدى 70% .

استخداماته :

يستخدم في التسخين الصناعي وأفران الموجات الدقيقة (المايكروويف) .

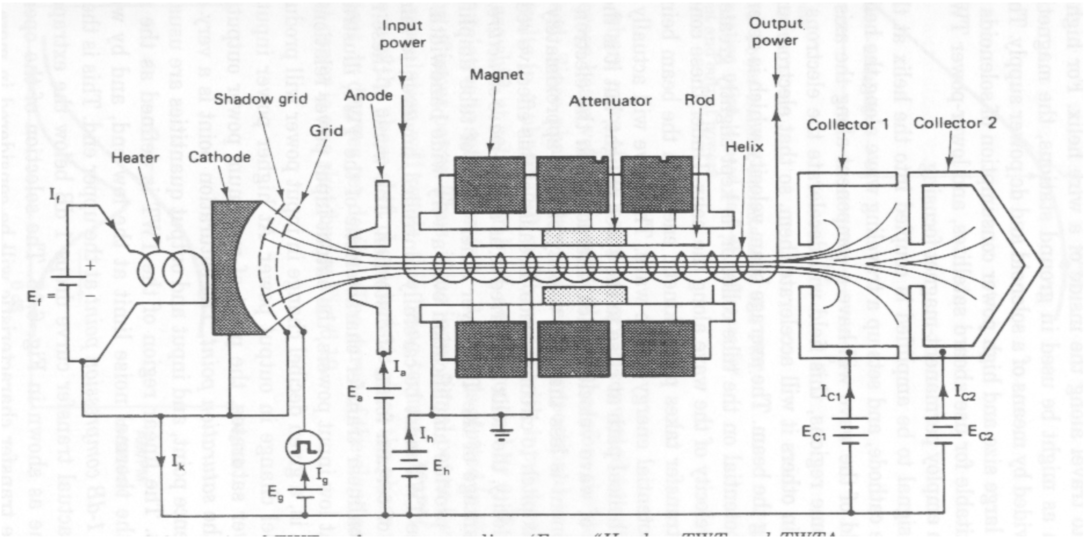
صمامات ومكبرات الموجة الرحالة

الغرض من عمل هذه المكبرات هو الحصول على عرض نطاق أعلى من 50% من التردد المركزي .

وعيبه الوحيد هو الاستفادة المنخفضة بالمقارنة مع المكبرات ضيقة النطاق .

كيف نحصل على تكبير يستفاد منه في مكبرات الموجة الرحالة ؟

ما إن تقع ترديدات الضخ والإشارة والوسيط جميعها في عرض نطاق إمرار المرشح بين مجموع تردد الإشارة والضخ يجب أن يوضع خارج نطاق الإمرار لذلك يتطلب أن يكون تردد الضخ ليس أعلى بكثير من تردد الإشارة وأماكن الترشيح ضعيفاً. شكل١٤ يبين مكبر موجة رحالة



شكل١٣ : مكبر موجة رحالة

الباب الثاني : عناصر أشباه الموصلات ودوائرها

المميزات بشكل عام :

يمكن لعناصر أشباه الموصلات القيام بوظائف كثيرة عند تردد الموجات الدقيقة منها التكبير والتذبذب والوصل والقطع ومضاعفة التردد وغيرها .

تتميز عناصر أشباه الموصلات بالمرونة والأداء الأفضل .

متطلبات القدرة أقل .

انخفاض الحجم .

المقدرة على إنشاء بعض النظم التي كان من الصعب تحقيقها .

ثنائي الفاراكتور وثنائي استعادة الخطوة والمضاعفات :

مقدمة :

ثنائي الفاراكتور (الثنائي ذو السعة المتغيرة) وهو ثنائي الوصلة ، سعة وصلته يمكن تغييرها إلكترونيا.

ثنائي استعادة الخطوة (الفاراكتور الخاطف) وهو ثنائي وصلة ، يخزن الطاقة في سعته ثم يولد توافقات بواسطة إطلاق نبضة التيار .

ثنائي الفاراكتور

استخداماته :

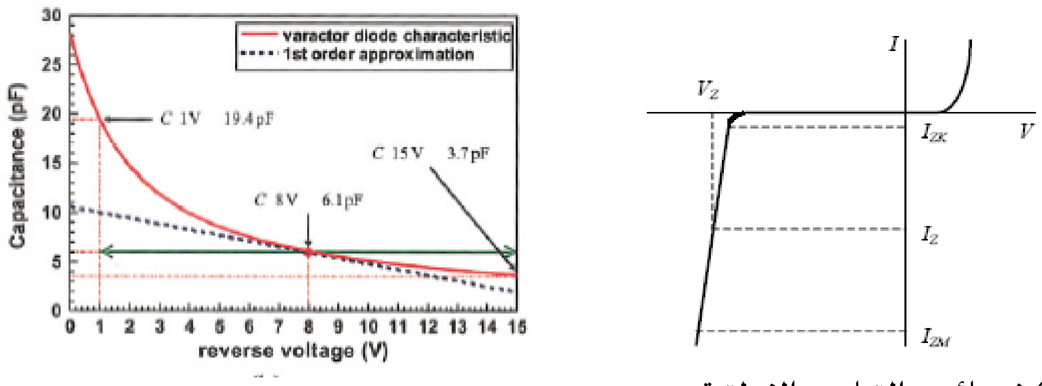
١- يستخدم كسعة متغيرة بالفولتية يمكن بواسطتها توليف دوائر الرنين .

٢- يستخدم في مضاعفات التردد للموجات الدقيقة .

٣- يستخدم كمكبرات بارامترية منخفضة الضوضاء للموجات الدقيقة .

طريقة عمله

يمكن تمثيل ثنائي الفاراكتور بواسطة سعة تتغير مع الجهد (V) متصلة على التوالي مع مقاومة (م) .



(أ)خصائص التيار – الفولتية (ب) خصائص سعة الوصلة – الفولتية

شكل ١٤ : خصائص ثنائي الفاراكتور.

هذه السعة غير الخطية ومقاومة التوالي المنخفضة التي تجعل الفاراكتور يعمل كمضاعف تردد وكمذبذب وكسويتش .

وكما يحدث في جميع الثنائيات يحدث الانهيار عند فولتية انحياز عكسي عالية .

هذا الانهيار من المحتمل أن يكون مدمراً .

المواد والبناء

استخدمت ثنائيات السيليكون ثم حل محلها فاراكتور أرسينيد الجاليوم .

شكل ١٥ : ثنائي الفاراكتور

مميزات أرسينيد الجاليوم :

١. ارتفاع القيمة العظمى لتردد التشغيل (إلى 100 GHz)

٢. يعطي أداء أفضل عند درجات حرارة أقل (269 C – كما في تطبيقات المكبر الباراستري)

٣. قابلية الحركة لحوامل الشحنة في أرسينيد الجاليوم .

الخصائص والمتطلبات

ثنائي الفاراكتور يوصل في الاتجاه العكسي يحدث تشبع للتيار العكسي عند قيمة منخفضة للفولتية العكسية ثم يظل التيار العكسي ثابتاً وفي النهاية يرتفع فجأة عند نقطة الانهيار .

المنطقة المستفاد بها في تطبيقات الفاراكتور تقع ما بين نقطة التشبع العكسي والتي تعطي القيمة العظمى لسعة الوصلة والنقطة ما قبل الانهيار والتي تعطي القيمة الصغرى لسعة الوصلة . وهما النهايتان اللتان تحددان تأرجح الفولتية العكسية وبالتالي تغير السعة .

يعتبر تردد القطع f_c من أهم خصائص الفاركتور و تتعدى هذه القيمة نظرياً 1000GHz ولكن تردد التشغيل الممكنة تصل إلى $f_c/10$ وذلك لأن بعد هذه القيمة للتردد تزيد المقاومة تدريجياً وبالتالي يحدث عدة أمورمنها :

أ. ينخفض عامل الجودة Q للفاراكتور .

ب. تزيد الضوضاء في المكبر البارامتري .

ج. تزيد القدرة المستهلكة .

د. تنخفض الكفاءة في مضاعفات التردد .

مضاعفة التردد :

ثنائي الفاراكتور يمكن استخدامه لمضاعفة التردد خاصة أنه يعمل عند ترددات أعلى بكثير من ترددات التشغيل للمذبذبات الترانزيستور .

ثنائي إستعادة الخطوة (الفاراكتور الخاطف) :

ثنائي استعادة الخطوة مصمم لتخزين شحنة عندما يكون موصلاً نتيجة الانجاز الأمامي عند تطبيق انحياز عكسي يفرغ الثنائي في فترة وجيزة جداً شحنته المختزنة منشأ نبضة تيارية حادة . فترة هذه النبضة من 100ps إلى 1000ps

زمن الخطف يجب أن يكون أقصر من مقلوب تردد الخرج :

مثال :

تردد خرج 8 GHz فأوجد زمن الخطف ؟

زمن الخطف = $T = 1/8*10^9 = 1.25*10^{-10}$ s $\rightarrow$ T = 125ps

خصائص الفاراكتور :

١. تنشئ الفاراكتورات قدرة خرج أعلى للترددات ما بعد 10GHz ويمكن استخدام الفاراكتورات إلى ترددات أعلى من 100 GHz

٢. ثنائيات الفاراكتور عريضة النطاق الترددي .

٣. لثنائيات الفاراكتور قدرة خرج تتراوح من 10W عند 2 GHz إلى حوالي 25 mW عند 100 GHz

٤. أعلى الفاراكتورات التي تعمل عند تردد أعلى من 10 GHz هي أرسينيد الجاليوم .

٥. تستخدم الفاراكتورات في التوليف وتعديل التردد لمذبذبات الموجات الدقيقة وكعناصر فعالة في المكبرات البارامترية .

خصائص ثنائي استعادة الخطوة .

١. الفاراكتور الخاطف يضاعف التردد بمعاملات مرتفعة وبكفاءة أفضل .

٢. ثنائيات استعادة الخطوة غير متاحة لترددات أعلى من 20 GHz

٣. متاحة بقدرات خرج تتعدى 50 W عند 300 MHz , 10 W عند 2GHz , 1W عند 10GHz

المكبرات البارامترية :

مقدمة :

(مكبر بارامتري) اشتق اسمه نتيجة أن السعة هي بارامر للدائرة المولفة و يستخدم المكبر البارامتري عنصراً له مفاعله تتغير بطريقة تنشئ للتكبير وهو مكبر منخفض الضوضاء نظرا لعدم الحاجة لاستخدام مقاومة في عملية التكبير. حالياً يستخدم ثنائي الفاراكتور كعنصر فعال .

طريقة العمل :

إذا جذب لوحي المكثف بعيداً عن بعضهما عندما تكون الفولتية بين اللوحين عند قيمتها العظمى الموجبة فإنه يلزم بذل شغل على لوحي المكثف هذا الشغل أو الطاقة المضافة لإبعاد لوحي المكثف عن بعضه تظهر كزيادة في الفولتية عبر المكثف $V = q/c$ ثابتة بينما الفولتية تتناسب عكسياً مع السعة .

هذا الإجراء مكرر بانتظام بحيث تؤخذ الطاقة من مصدر الضخ وتضاف إلى الإشارة عند تردد الإشارة بالتالي يحدث التكبير إذا وصل هذا النظام بدائرة .

مقارنة أساسيات المكبر البارامتري بالمكبرات التقليدية :

المكبر البارامتري	المكبر التقليدي
١. استخدام مفاعلة متغيرة .	١. استخدام مقاومة متغيرة .
٢. استخدام مصدر قدرة متغيرة A_c	٢. استخدام مصدر قدرة مستمر P_c

مفهوم تردد الوسيط :

إذا كان الضخ لا يساوي ضعف تردد الإشارة يحدث تضارب بين الترددين وتظهر إشارة فارق ترددي تسمى إشارة تردد الوسيط .

مفهوم الأسلوب الإنحلالي :

المكبر البارامتري يحتاج إلى تغير سعوي يحدث تردد ضخ يساوي تماما ضعف تردد رنين الدائرة المولفة وبالتالي ضعف تردد الإشارة يعيبه حساسيته للوجه هذا العيب يحد من الاستفادة منه في بعض التطبيقات .

هذا الأسلوب من التشغيل يسمى الأسلوب الانحلالي (أسلوب غير متناسل) وهو من النوع ذي المقاومة السالبة .

تصنيف المكبرات البارامترية :

تصنيف المكبرات البارامترية من حيث :

العنصر المستخدم كبارامتر متغير النوع المستخدم هو للفاراكتور والذي يغير سعته .

نوع المقاومة سالبة أو موجبة .

المكبر البارامتري ذات المقاومة الموجبة هذا هو الذي يستفاد منه في المكبرات البارامترية ويعتبر مغيراً لأعلى للمنطاق الجابي العلوي خرجه يؤخذ من تردد الوسيط

$$f_i = f_p + f_s$$

المكبر البارامتري ذو المقاومة السالبة إما أن يكون

١. مكبرات مباشرة $f_o = f_s$

٢. مغيرات نطاق جانبي سفلي $f_o = f_p + f_s$

عرض النطاق

أي مكبر بارامتري يمكن أن ينتمي إلى نوعين :

١. مكبرات النطاق الضيق

يستخدم ثنائي الفاراكتور ويكون جزءاً من الدائرة المؤلفة .

٢. مكبر النطاق العريض

تستخدم عدد من الثنائيات كجزء من بناء موجة رحالة .

مكبرات النطاق الضيق

إما أن يكون مكبراً ذو منفذاً واحداً لا إنحلالي أو مكبراً ذا منفذين

المكبر ذو المنفذ الواحد يعاني من افتقار الاستقرارية والاستفادة المنخفضة وذلك يعود في الأساس ألى أن الخرج مأخوذ من تردد الدخل

مميزاته :

١. احتياجه إلى قدرة ضخ أقل .

٢. ضوضاء منخفضة .

٣. حجم صغير ومتانة وغير مكلف .

إذا أخذ الخرج من تردد الوسيط ينشأ مغير تردد لأعلى النطاق الجانبي السفلي ذو منفذين

يعطي عامل ضوضاء منخفض

وعيوبه :

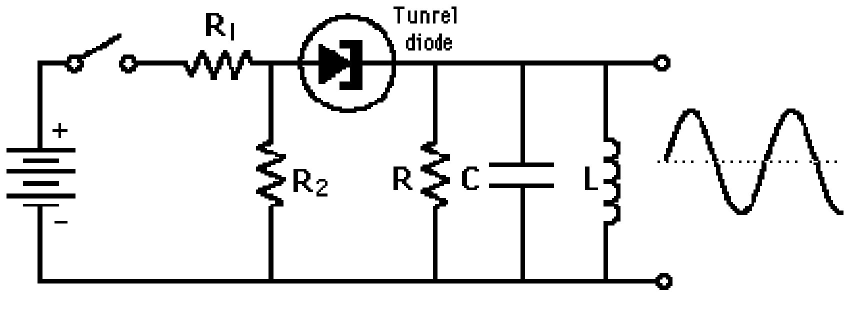
التعقيد والافتقار إلى مصادر ضخ مناسبة .

نتيجة لذلك فإن المكبر الانحلالي ذو المنفذ الواحد هو الأكثر استخداماً .

الثنائي النفقي المقاومة السالبة

تعريف الثنائي النفقي :

هو ثنائي ذو وصلة نحيفة تحت شروط الانحياز الأمامي المنخفض يبدي مقاومة سالبة وهذا يجعل الثنائي النفقي مفيداً في التذبذب والتكبير شكل15 يبين الدائرة لمولد الثنائي النفقي

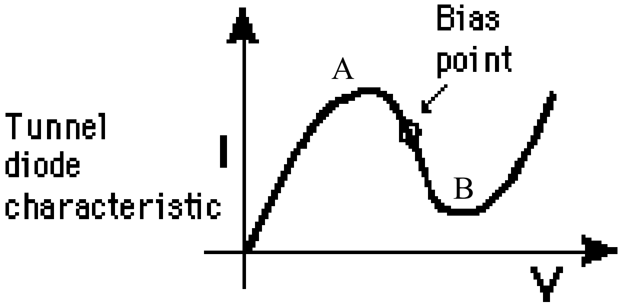


شكل ١٦ : دائرة مولد للثنائي النفقي

مميزات الثنائي النفقي :

أ. هو ثنائي وصلة p-n شبه موصل .

ب. يختلف عن الثنائي العادي فقط في أن مادة شبه الموصل لها تركيز شوائب عالٍ جداً هذا التركيز العالي للشوائب ينشئ وصلة لها طبقة استنزاف سمكها حوالي 0.01μm نحيفة بحيث تسمح بحدوث ظاهرة الانتقال النفقي.



شكل ١٧ : خصائص التيار – الفولتية للثنائي النفقي

مقارنة بين الثنائي النفقي و العادي

خصائص التيار الفولتية لثنائي نفقي جرمانيوم :

١. التيار الأمامي يرتفع في البداية بحدة مع الفولتية بينما يزداد ببطء في الثنائي العادي

٢. التيار العكسي يكون أعلى بكثير في الانحياز العكسي بينما في الثنائي العادي يكون أقل وذلك يعود إلى نحافة الوصلة .

خصائص التيار الفولتية لثنائي نفقي جرمانيوم :

١. النقطة A تسمى (فولتية القمة) وبزيادة الانحياز الأمامي ما بعد هذه النقطة ينخفض التيار الأمامي ويستمر في الانخفاض إلى أن يصل إلى النقطة B هذه النقطة تسمى (فولتية الوادي)

٢. الوادي : هي النقطة التي عندها يبدأ الثنائي في العودة إلى عمله الطبيعي

عند النقطة B يبدأ التيار في الزيادة مرة ثانية وبسرعة مع زيادة الانحياز . ما بعد النقطة B تصبح الخصائص مماثلة للثنائي العادي .

خصائص التيار – الفولتية للثنائي تبين خاصتين هامتين :

أ. الثنائي يبدي مقاومة ديناميكية سالبة بين النقطتين A و B بالتالي فهو مفيد في التطبيقات كمذبذب أو كمكبر .

ب. المقاومة السالبة تحدث عندما تكون كل من الفولتية المطبقة والتيار الناتج عند قيم منخفضة بالتالي الثنائي النفقي هو عنصر قدرة منخفضة .

نظرية الثنائي النفقي - ظاهرة الانتقال النفقي :

الطاقة التي تمثلها الإلكترونات في الجانب n من الوصلة لا تكون كافية بالسماح لها بالنفاذ من عائق الوصلة للوصول إلى الجانب p . الإلكترون الذي له طاقة غير كافية للنفاذ من العائق يمكن أن يحد نفسه في الجانب الآخر إذا كان هذا العائق نحيفاً بالقدر الكافي وذلك دون أي فقد من الطاقة من جانب الإلكترون .:

مستويات الطاقة للثنائي النفقي عند مستويات انحياز ثلاثة :

١. عندما تكون فولتية الانحياز مساوية للصفر تكون هذه الخطوط عند نفس الارتفاع في هذه الحالة الإلكترونات يمكنها أن تنتقل نفقياً من أحد جانبي الوصلة إلى الآخر نظرا لنحافتها . وأيضاً التياران متساويان شكل١٨ (أ)

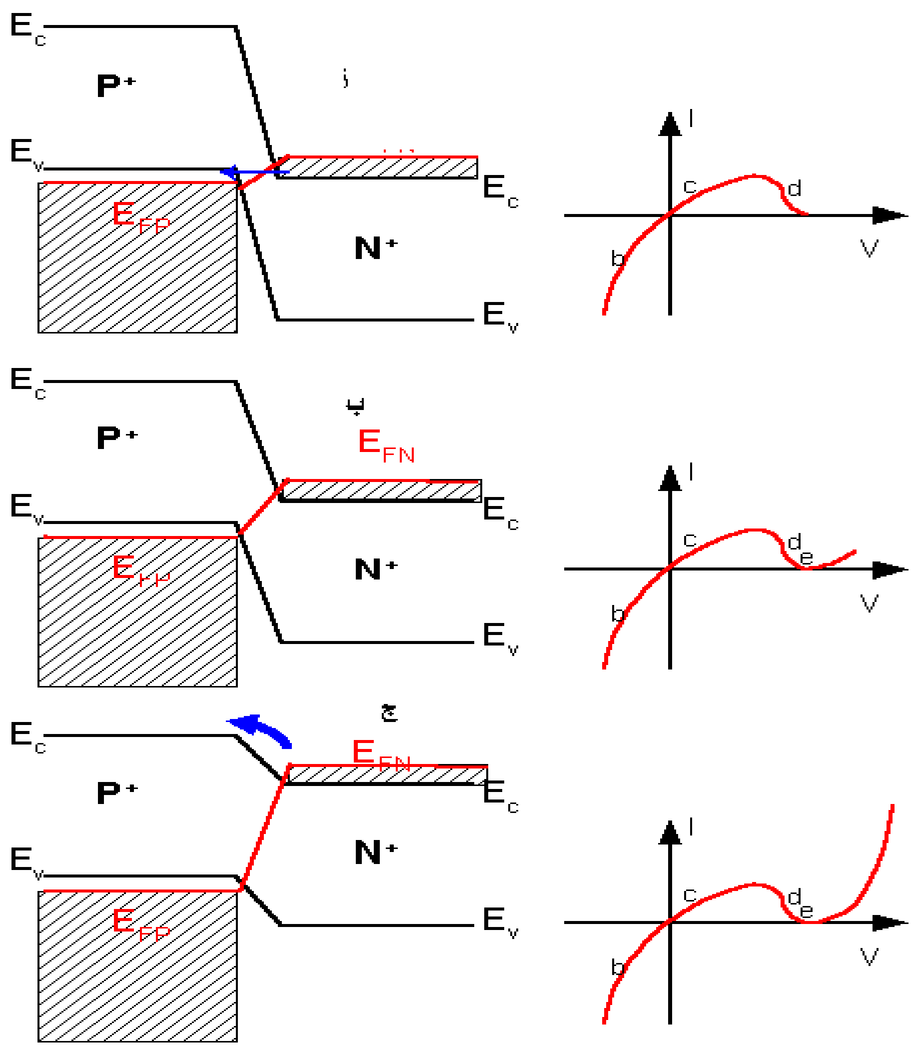
٢. عند تطبيق إنحياز أمامي صغير على الوصلة مستوى الطاقة للجانب p ينخفض (بالمقارنة بالجانب n) شكل ١٨ (ب) الإلكترونات من الجانب n يمكن أن تنتقل إلى p لكن العكس غير ممكن والسبب في ذلك إلكترونات التكافؤ في الجانب p يقابلها ثغرة النطاق المحظور في الجانب n .

٣ . يصل الانحياز الأمامي إلى القيمة التي عندها لا يقابل إلكترونات نطاق التوصيل في الجانب n حالات خالية في نطاق التكافؤ في الجانب p ويتوقف الانتقال النفقي (الانحياز الذي يحدث يناظر نقطة الوادي) شكل١٨ (ج) .

ما هي الظاهرة الهامة في الثنائي النفقي ؟

١. منطقة المقاومة السالبة .

٢. قمة التيار الأمامي .



شكل ١٨ : مخطط مستويات الطاقة لوصلة الثنائي النفقي أ. فولتية الانحياز 0v ب. فولتية القسمة ج. فولتية الوادي

ما هي نتيجة الانتقال النفقي عبر الوصلة الضيقة ؟

يتدفق التيار الأمامي بكمية كبيرة وبزيادة الانحياز الأمامي يصبح الانتقال النفقي أكثر صعوبة وينخفض التيار النفقي وتنشأ المقاومة السالبة . وبزيادة الفولتية يتوقف الانتقال النفقي ويعمل الثنائي بالطريقة العادية .

مكبرات المقاومة السالبة :

ظهرت بعض عناصر أشباه الموصلات الأخرى القادرة على إنشاء قدرة موجات دقيقة أعلى من الثنائي النفقي ولذلك تجنب استخدام الثنائي النفقي في بعض تطبيقاته كمذبذب . ويستخدم الثنائي النفقي كمكبر ذي مقاومة سالبة للموجات الدقيقة .

المولد المكبر الذي يحتوي على مقاومة سالبة قادر على إعطاء استفادة قدرة ، بالإضافة إلى ذلك إعطاء استفادة قدرة لا نهائية والتي تفي التذبذب .

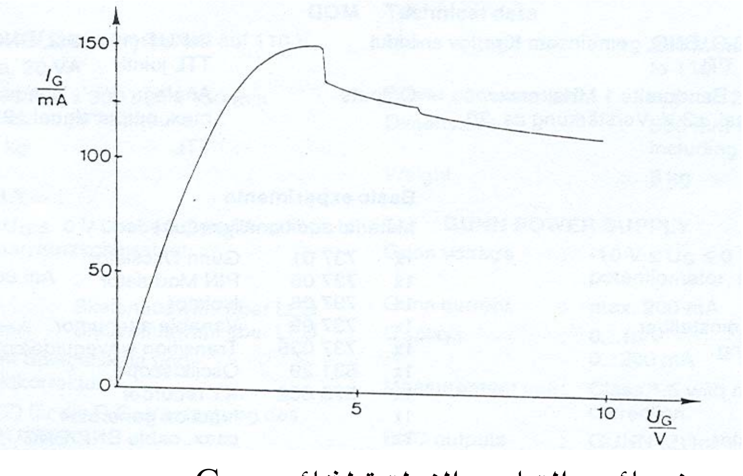
تأثير ثنائيات جن :

هو خاصية لجسم أشباه الموصلات ولا تعتمد على خصائص وصلة أو تلامس وتحدث في المواد من النوع n فقط حيث تكون مصاحبة للإلكترونات وليس للفجوات . إذا طبقت فولتية مستمرة عبر شريحة أرسينيد الجاليوم (n) فإنها تبدي مقاومة سالبة بشرط أن تتعدى قيمة المجال الكهربائي 3.3kV/cm بالتالي تحدث تذبذبات إذا وصلت الشريحة بدائرة مولفة مناسبة.

المقاومة السالبة :

عند تطبيق فولتية عبر شريحة أرسينيد الجاليوم النوع n تدفق الإلكترونات كتيار تجاه الطرف الموجب للشريحة . وبزيادة الجهد تكتسب الإلكترونات طاقة كافية لنقلها إلى نطاق الطاقة الأعلى والذي تكون فيه قابلية الحركة أقل بالتالي تنخفض سرعتها وينخفض التيار وتتصرف الشريحة كمقاومة سالبة حيث بزيادة الفولتية بعد القيمة المحمية 3.3kv/cm ينخفض التيار .

أ. ثنائي GUNN موضوع في مجوف مستطيل



ب. خصائص التيار – الفولتية لثنائيGunn

شكل ١٩

محول جن :

التذبذبات الناشئة في شريحة أرسينيد الجاليوم من النوع n تكون متناغمة مع زمن عبور حزمة الإلكترونات المكونة للشريحة . حزمة الإلكترونات المتكونة تسمى حقل . ويتحرك الحقل بأكمله عبر الشريحة تجاه الطرف الموجب بسرعة 10^7cm/s هذا الحقل يناظر نبضة فولتية سالبة عندما تصل إلى الطرف الموجب للشريحة تستقبل بواسطة الدائرة المولفة المصاحبة لإشارتها للتذبذب

تطبيقات جن :

١. تستخدم ثنائيات جن كمذبذبات قدرة في مستقبلات وأجهزة قياس الموجات الدقيقة .

٢. تستخدم ثنائيات جن كمصدر ضخ للمكبرات البارامترية .

٣. مكبر قدرة منخفض أو متوسط الضوضاء .

الباب الثالث : الترانزيستورات والدوائر المتكاملة :

مقدمة :

تؤثر السعات بين الأقطاب الداخلية على أداء الترانزيستور عند الترددات العالية .

مع زيادة التردد تصبح (α,β) الاستفادة التيارية غير صالحة لتحديد أداء الترانزيستور نظراً لصغر حجم الترانزيستور وتكون أطراف الأقطاب قصيرة بالتالي بناء مناسب وعبوة مناسبة تتميز بانخفاض المحادثة .

توجد طرق عديدة لوصف وتحديد سلوك ترانزستور التردد الراديوي عند الترددات العالية

تردد القطع لألفا f_α هو التردد الذي عنده تنخفض استفادة التيار للقاعدة بالمقدار 3dB

تردد القطع البيتا f_β هو التردد الذي عنده تنخفض استفادة التيار للباعث بالمقدار 3dB

العلاقة بين تردد القطع هي : $f_\alpha = f_\beta.\beta$

حل محل هذه الترددات تردد (الاستفادة – عرض النطاق) f_t .

f_t - هو التردد الذي عنده تصل استفادة التيار β إلى قيمة الوحدة . أي أنه أعلى تردد يمكن الحصول منه على استفادة تيار .

القيمة العظمى التردد التذبذب f_{max} : هو أقصى تردد يمكن للترانزيستور أن يتذبذب عنده وقيمته تكون أعلى من f_t .

الترانزيستورات والدوائر المتكاملة للموجات الدقيقة :

يستخدم في دوائر الموجات الدقيقة نوعان من الترانزيستور :

١. ترانزيستور ثنائي القطبية سيليكون .

٢. ترانزيستور تأثير المجال أرسينيد الجاليوم .

مميزات ترانزيستور تأثير المجال :

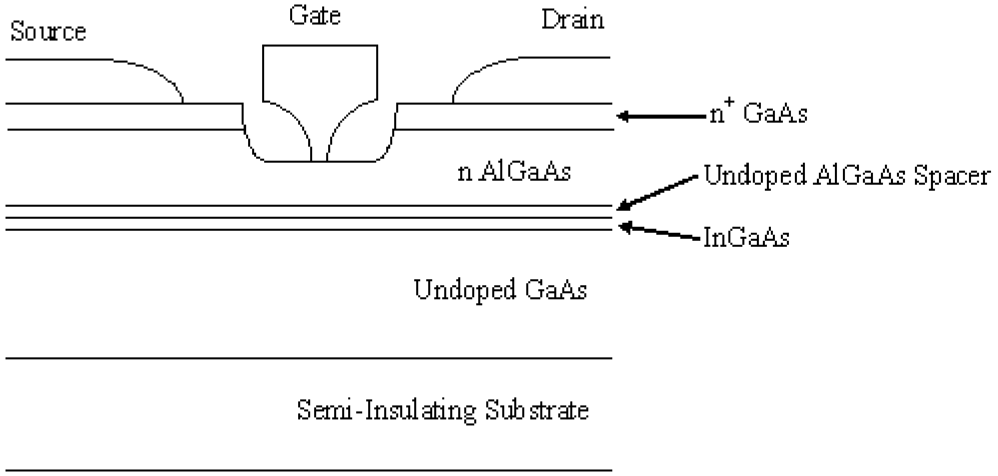
أ. عامل الضوضاء منخفض .

ب. قدرة الخرج عالية

ج. البنية هضبية (انظر شكل ٢- ٣)

د. عرض البوابة 300 - 2400 µm

و. تتعدى قيم f_{max} حوالي 100 GHz



شكل ٢٠ : ترنزيستور تأثير المجال

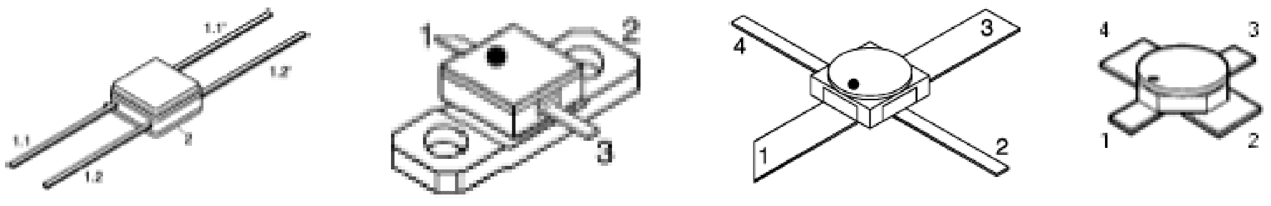
ملحوظة : أكثر ترانزيستورات تأثير المجال الشائعة تستخدم بوابة عائق شوكي (بوابة معدن شبه موصل) .

مميزات ترانزيستور ثنائي القطبية سيليكون :

١. يتطلب وصلة باعث صغير جداً وقاعدة نحيفة جدا

٢. البلانار (المسطح) السيليكوني يحقق أداء أفضل لثنائي القطبية في الموجات الدقيقة .

٣. تحقيق مساحة باعث صغير وهي التي تحقق أقصر زمن عبور وحافة باعث كبير وهذا يسبب مقدرة كبيرة على حمل التيار .



شكل٢١ : أربعة أنواع مختلفة من الترانزيستور المستخدمة في المايكروييف

العوامل التي تعطي أقصى أداء عند التردد العالي لترانزسيتور علاوة على الفولتيات و التيارات العالية هي بنية الترانزيستور . فالمساحة الصغيرة للأقطاب تخفض السعات بين الأقطاب الداخلية ونحافة المناطق الفعالة تخفض زمن العبور .

التعبئة والدوائر :

تستخدم طريقتان لتعبئة ترانزيستورات الموجات الدقيقة :

١. عبوة استريب لاين .

ميزاتها :

أ. ذات أطراف شعاعية .

ب. لها سمك 1 mm وقطر 5 mm

ج. تستخدم لترددات تصل إلى حوالي 30 GHz

٢. عبوة TO - 72

ميزاتها :

أ. متاحة لترددات تصل إلى حوالي 2GHz

ب. خاصة للترانزيستور ثنائي القطبية سيليكون .

الترانزيستورات والدوائر المتكاملة للموجات الدقيقة

١. الترانزيستورات ثنائية القطبية - ميزاتها :

أ. متاحة إلى ترددات تصل إلى 8GHz

ب. مستخدمة للترددات المنخفضة للموجات الدقيقة

ج. تعطي عامل ضوضاء منخفض 2.4 db عند 4GHz و 1.8 db عند 2GHz

د. قدرة تصل إلى أكثر من 1W للترانزيستور الواحد عند 4GHz

ه. ترانزستورات القدرة تنشئ خرج 150mw وتستخدم كمكبرات قيادة في مرسلات القدرة العالية وهي كمراحل لحل خرج لدوائر

و. ترانزيستورات ذات الضوضاء المنخفضة يصل فيها عامل الضوضاء إلى 14db

٢. ترانزيستورات تأثير المجال أرسيند الجاليوم - مميزاتها :

أ. متاحة كعناصر مفردة أو كدوائر متكاملة للموجات الدقيقة .

ب. متاحة لترددات قد تكون أعلى من 40GHz

ج. عامل الضوضاء أقل من 1dB عند 4GHz وحوالي 2dB عند 20GHz

بماذا تتميز ترانزيستورات التأثير والمذبذبات عن العناصر الأخرى:

تتميز بحياة تشغيل أطول وحجم ووزن أقل وفولتية أقطاب أصغر وقدرة مستهلكة أقل مع كفاءة تصل إلى 40% وعامل ضوضاء أقل وعرض نطاق أفضل

تقنيات الماكروويف و الأقمار الصناعية

مخطط سميث (SMITH CHART)

الوحدة الرابعة : مخطط سميث (SMITH CHART)

الأهداف :

تهدف هذه الوحدة إلى :

١/ تمكين المتدرب من فهم وتحليل العوامل المؤثرة في وصل خطوط النقل مع بعضها أو مع عناصر دائرة المايكروويف كجهاز الإرسال أو الحمل وجهاز الاستقبال أو الأجهزة المختلفة في ربط المايكروويف (Microwave Link) .

٢/ تمكين المتدرب من معالجة الحالات التي يحدث فيها عدم التوافق (Mismatching) بين خط النقل وبقية العناصر أو العناصر فيما بينها .

٣/ إعطاء المتدرب خبرة في استعمال أدوات التوافق وخاصة مخطط سميث بشكل ميسر

مقدمة :

عند الربط بين الإرسال والاستقبال نعمل على أن تصل قدرة الإرسال أو أقصى قدر منها إلى الاستقبال وهذا يتطلب أن تكون الأجهزة المتصلة عبر خطوط النقل متوافقة أي أن الموجة تنتشر من الإرسال إلى الاستقبال بدون انعكاس وهذا أمر غير متحقق دائماً وخاصة في الحالات التطبيقية . فنضطر للاستعانة بتقنيات تمكن من إيجاد توافق أي منع انعكاس الموجة وما ينتج عنه من هدر للقدرة التي هي في الأصل يجب أن تصل كاملة إلى الاستقبال .

هذه التقنيات تتعلق بمواءمة وموافقة المعاوقات الذاتية لخطوط النقل و معاوقات بقية العناصر وذلك باستخدام ما يسمى مخطط سميث (CHART SMITH)

الباب الأول : انتشار الموجات على خطوط النقل

تنتشر طاقة المايكروويف على خطوط النقل في شكل موجات مرتبطة بالزمن والبعد من مصدر الإرسال .

١/ معامل الانتشار .

يحدد معامل الانتشار γ التغير في الطاقة مع المسافة على طول خط النقل و يمكن التعبيرعن معامل الانتشاربالمعادلة التالية :

$$\gamma=\alpha+j\beta \qquad (١)$$

حيث α - معامل التوهين ، ويحدد الانخفاض في الطاقة مع المسافة ويمكن تعريفه بأنه مقدار توهين الطاقة لكل وحدة طول .

β– معامل إزاحة الطور ويحدد التغيير في زاوية الوجه للطاقة مع المسافة ويمكن تعريفه بأنه الإزاحة الزاوية لكل وحدة طول وطالما أن إزاحة الطور مقدارها ٢π تحدث على مسافة تساوي الطول الموجي λ فإن : $\beta = \dfrac{2\pi}{\lambda}$

إذا كان خط النقل ذا طول لا نهائي فإن الموجة تنتشر دون انعكاس ورجعة على الخط أي أنه إذا كانت الموجة لا تصادف في طريقها تغيرا في المعاوقة الذاتية Z_o للخط فهي تنتشر دون انعكاس .

أما إذا حدث تغير في المعاوقة كوصل خط نقل آخر ذي معاوقة مختلفة الذي يعتبر حملاً بالنسبة للخط الأول ذي معاوقة Z_L فإن جزءاً من الموجة تنعكس عند مستوى الوصل. وينتشر الجزء المنعكس باتجاه الإرسال عكس اتجاه الموجة الأصلية المسقطة من الإرسال إلى الاستقبال .

تحدد نسبة الموجة المنعكسة (Reflection wave) E_r على نسبة الموجة المسقطة E_i (Incident Wave) معامل الانعكاس Γ الذي يمكن إعطاؤه بواسطة

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \qquad (٢)$$

وهو ما يعبر عن اختلاف المعاوقتين الذاتية Z_o والحمل Z_L

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \qquad (٣)$$

من العلاقة أعلاه لا يمكن لمعامل الانعكاس أن يزيد على مقدار أصغر أو يساوي $|\Gamma| \leq 1$

وباعتبار معامل الانعكاس يمكن استنتاج الحالات الخاصة للانعكاسات التالية :

أ. في حالة $Z_L = Z_o$ أي أن الخط متوافق مع الحمل فإن الموجة لا تلاحظ تغير في المعاوقة وبالتالي تنتشر الموجة دون انعكاس كأنها على خط متناهي الطول دون نهاية $Z_L = Z_o \rightarrow \Gamma = 0$

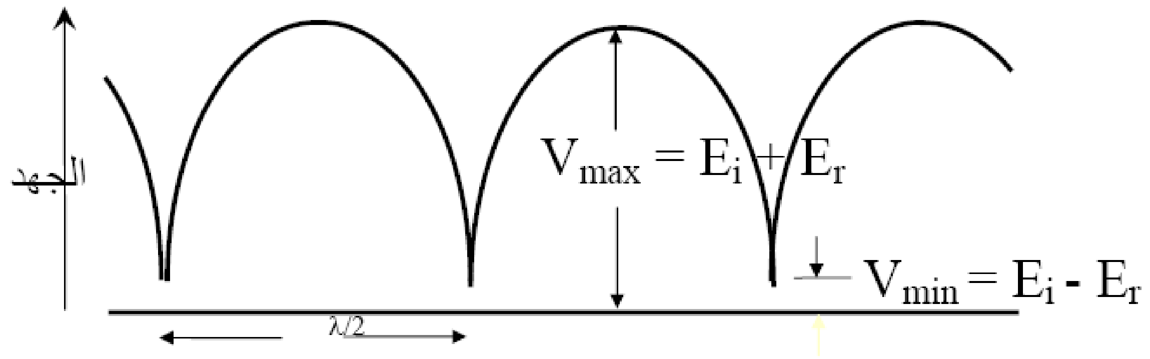
ب. في حالة خط نقل ذي طول محدود مفتوح النهاية (Open-ended Line) ($Z_L = \infty$) فإن معامل الانعكاس يساوي $\Gamma = ١ \leftarrow$. يعني أن الموجة تنعكس كاملة بنفس الإشارة .

ج. في حالة خط نقل ذي طول محدد ذي تماس في النهاية (Short Circuit) $Z_L=0$ فإن عامل الانعكاس يساوي $\Gamma = -1$ يعني أن الموجة تنعكس بكامل سعتها مع تغيير في الإشارة .

الباب الثاني : الموجات المستقرة

عند حدوث انعكاس للموجة على خط النقل كما ذكر آنفاً فإنه يتكون على الخط موجتان إحداهما تنتشر في اتجاه الاستقبال(الموجة المسقطة) وأخرى في اتجاه الإرسال (الموجة المنعكسة) الأمر الذي ينتج عن مشهد موجة مستقرة على كامل نقاط خط النقل .ناتجة عن تراكم مجالات الموجتين ، فتعطي انطباعاً على أنها موجة واقفة ذات طول $\lambda/2$.

ونتيجة لتضاد طور الموجة المسقطة مع طور الموجة المنعكسة فإن الموجة المستقرة المتكونة تكون في نقاط على الخط ذات القيمة دنيا وفي نطاق أخرى عند توافق الطور أن تكون ذات قيمة قصوى ولكن هذا الانطباع الساكن للموجة لا يعني عدم التردد في الزمن ولكن ثباته في المكان بطول $\lambda/2$.



شكل ١ :مشهد موجة مستقرة

فإذا اعتبرنا المسافة الفاصلة بين نقطتين (ذات السعة الدنيا مثلاً) فإن اختلاف الطول يساوي π وبالتالي يمكن كتابة فرق الطور بين نقطتين بواسطة ثابت إزاحة الطور .

$$\beta(x_2 - x_1) = \pi$$

$$x_2 - x_1 = \frac{\pi}{\beta}$$

وبما أن $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ فيصبح $x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{2}$ وهي دورة الموجة المستقرة كما هو مبين آنفاً

في حالة وجود موجات مستقرة على خط نقول أن خط النقل رنان (Resonant Transmission Line) فإن القيم القصوى والقيم الدنيا للموجات المستقرة تكون ثابتة ونعرف نسبة السعة القصوى للموجة E_{max} إلى قيمة السعة الدنيا للموجة E_{min} بنسبة الموجة المستقرة-SWR) (Standing Wave Ratio وهو يساوي

$$S = \frac{E_{max}}{E_{min}} \qquad (٤)$$

حيث E_{max} هي مجموعة سعة الموجة المسقطة$|E_i|$ مع سعة الموجة المنعكسة $|E_r|$

$$E_{max} = |E_i| + |E_r| \qquad (٥)$$

بينما E_{min} هي الفارق بين سعة الموجة المسقطة $|E_i|$ وسعة الموجة المنعكسة $|E_r|$

$$E_{min} = |E_i| - |E_r| \qquad (٦)$$

ملحوظة :

عند اعتبار فولتية الموجة أو تيار الموجة على الخطوط المحورية أو ذات السلك الزوجي فإنه يعوض E بـ V للفولتية وH بـ I للتيار من العلاقة (2) و (4)

$$S = \frac{1+\rho}{1-\rho} \qquad (7)$$

حيث $\rho=|\Gamma|$ القيمة المطلقة لـ Γ

كما ينتج العلاقة التالية :

$$\rho = \frac{S-1}{S+1} \qquad (٨)$$

ومما تقدم ذكره في الحالات المختلفة لمعامل الانعكاس فيمكن استنتاج النتائج التالية

أ. في حالة ($Z_L = Z_o$) توافق بين الحمل والخط ينتج $S = 1$

ب. في حالة خط مفتوح ($Z_L = \infty$) ينتج مما سبق من (٨) $S=\infty$

ج. وفي حالة التماس ($Z_L = 0$) ينتج $S=\infty$

د. وفي الحالة العامة Z محصورة بين ١ و ∞ $1 < S > \infty$

الباب الثالث : مخطط سميث (حالة خط بدون فقد)

١. ظاهرة عدم التوافق بين الخط والحمل

في حالة كون معاوقة الحمل تساوي المعاوقة الذاتية للخط فإنا نقول أن الخط يسمى الخط المنبسط (Flat Line) أي أنه لا يوجد انعكاس على الخط وبالتالي فإن نسبة الموجات المستقرة S ليس لها قيم دنيا وقصوى وإنما لها قيمة ثابتة (موجة منبسطة) في هذه الحالة الخاصة نقول أن الحمل موافق للخط غير أنه في الحالات العملية العامة تكون معاوقة الحمل Z_L مختلفة عن Z_o ($Z_L \neq Z_o$) .

ونقول في هذه الحالة أن الحمل غير متوافق مع الخط (Mismatched) وينتج عن هذه الحالة المساوئ التالية :

أ. لا تصل القدرة الكاملة للإرسال للحمل .

ب. تتولد قيم قصوى لفولتية الموجة المستقرة مما قد يسبب وميض العازل على الخط .

ج. يرتفع التيار المنعكس من الحمل فيزيد في الفقد على الخط حسب نتيجة المقاومة للخط حسب العلاقة $I^2 R$ التي تظهر في شكل حرارة الخط .

د. ارتفاع نسبة الموجات المستقرة S تزيد في التشويش .

هـ . تتولد إشارات الشبح (Ghost Signals) المعروفة على شاشة التلفزيون عند عدم توافق الهوائي (الحمل) مع الكيبل (الخط) الرابط بالتلفزيون .

و. طاقة الموجة المنعكسة تصل إلى جهاز الإرسال فينتج عنه خطر تدمير الطوابق الأخيرة في جهاز الإرسال لذلكتيجب حماية جهاز الإرسال بوضع (ISOLATOR) الذي ينقص من مفعول الموجات المنعكسة

٢. حالات خاصة

الحمل يمثل المقاومة الأومية ($Z_L = R_L$) خالصة في هذه الحالة يمكن حساب نسبة الموجات المستقرة بالعلاقة التالية :

$$S = \frac{Z_o}{R_L} \quad \text{اذا} \quad R_L < Z_O$$

$$S = \frac{R_L}{Z_o} \quad \text{اذا} \quad R_L > Z_O$$

مثال عملي :

على خط نقل ذي معاوقة ذاتية ($Z_o = 75\ \Omega$) متصل مرة بحمل $Z_L = R_L = 300\ \Omega$ ومرة بحمل قيمته بـ $Z_L = R_L = 50\ \Omega$ حدد قيمة S في كلتا الحالتين .

الحل :

في حالة الحمل الأول $R_L = 300\ \Omega$ فإنه حسب العلاقة أعلاه ينتج

$$S = \frac{R_L}{Z_o} = \frac{300}{75} = 4$$

في حالة الحل الثاني $R_L = 50\ \Omega$ فإنه حسب العلاقة أعلاه ينتج

$$S = \frac{Z_o}{R_L} = \frac{75}{50} = 1.5$$

من هذه الأمثلة يظهر أنه كل ما كانت قيمة نسبة الموجات المستقرة كبيرة كل ما كبر عدم التوافق (Mismatching) ولذلك فإن الغاية هو إيجاد نسبة الموجات المستقرة منخفضة على الخط وقريبة من الواحد

تمرين :

لدينا جهاز إرسال يعمل على تردد 2,4 GHz بطاقة خرج $P_i = 1w$ نوصله عبر خط نقل RG-11 A/U بهوائي ذي معاوقة دخل تساوي $Z_A = 300\ \Omega$ حدد

أ. معامل الانعكاس Γ

ب. نسبة الموجات المستقرة S

ج. قيمة الطاقة الممتصة من طرف الهوائي .

د. ما العمل للرفع في الطاقة الممتصة .

الحل :

أ. $$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o}$$

المعاوقة الذاتية للخط حسب الرمز المعطى في النص .فإنها تؤخذ من الجدول رقم ٢ في الوحدة الأولى

حيث $Zo = 75\ \Omega$ وبالتالي فإن Γ تساوي

$$\Gamma = \frac{300-75}{300+75} = \frac{225}{375} = 0.6$$

بما أن الحمل يمثل مقاومة أومية خالصة $Z_L = R_L$ $Z_L > Z_o$ فإن نسبة الموجات ممكن حسابها حسب العلاقة التالية :

$$S = \frac{R_L}{Z_o} = \frac{300}{75} = 4$$

$$S = \frac{1+\rho}{1-\rho} = \frac{1+0.6}{1-0.6} = 4$$ (تأكد بحساب ذلك بالعلاقة ٧)

طاقة الموجة الممتصة من طرف الهوائي P_a هي الفرق بين طاقة الموجة المسقطة P_i الصادرة عن جهاز الإرسال وطاقة الموجة المنعكسة P_r

$$P_a = P_i - P_r$$

وحيث إن الموجة متناسبة مع تربيع المجال (أو الفولتية) فإن الموجة المنعكسة P_r متناسبة مع الموجة المسقطة عن طريق تربيع معامل الانعكاس

$$P_r = \rho^2 P_i$$

ومنه فإن القدرة الممتصة تساوي حسب (٧) (غير طاقة بقدرة)

$$P_a = P_i \ (1 - \rho^2)$$

وبتعويض القيم $\rho = 0.6$, $P_i = 1$ w ينتج

$$P_a = 1 \ (1 - 0.6^2)$$
$$P_a = 0.64 \ \text{W}$$

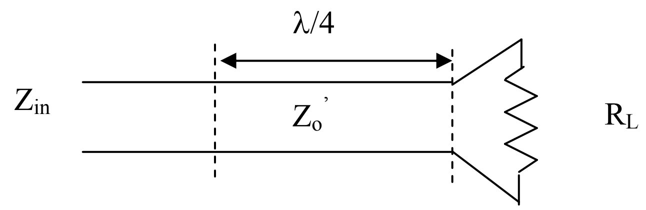
نلاحظ في النتائج السابقة أن الهوائي لا يتحصل على الطاقة الكاملة من جهاز الإرسال نتيجة لارتفاع معامل الانعكاس أي ارتفاع بنسبة الموجات المستقرة S فيكون بذلك الهوائي يمثل حملاً غير متوافق مع خط الإرسال ولرفع الطاقة الممتصة يجب العمل على تقليل نسبة S وذلك بإيجاد الوسائل اللازمة لذلك .

٣. حلول مشكلة عدم التوافق :

أ. محول ربع الموجة (**λ/4 Tranformer**)

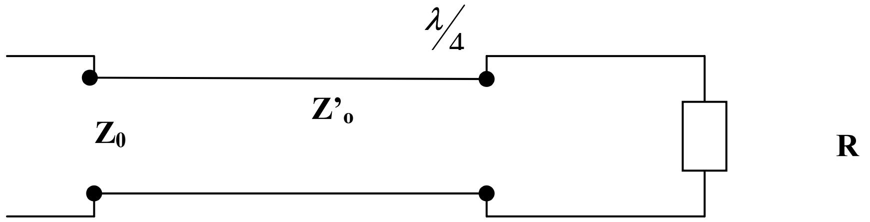
إذا كانت معاوقة الحمل أومية بحتة وكان طول الخط يساوي ربع طول الموجة كما هو مبين في الشكل أدناه فإن معاوقة دخل الخط تساوي :

$$Z_{in} = \frac{Z'^2_o}{R_L} \qquad (9)$$



شكل٢

يمكن الاستفادة من قطعة الخط هذه (λ/4) لتحويل معاوقة خط النقل الأساسي Z_o بحيث تكون $Z_{in} = Z_o$ وبالتالي يصبح علينا تحديد Z'_o حسب العلاقة (9) وبالتالي يمكن كتابة قيمة معاوقة المحول λ/4 حسب ما يلي : $Z'_o = \sqrt{Z_o . R_L}$



شكل ٣

تمرين 2 :

أوجد طريقة لموافقة الهوائي ذي حمل $R = 300\ \Omega$ مع خط الإرسال $Z_o = 50\ \Omega$ (انظر التمرين 1)

الحل :

بما أن معاوقة الحمل هي معاوقة أومية بحتة فيمكن استعمال محول λ/4 لموافقة الهوائي مع الخط

$$Z'_o = \sqrt{50.300} = 122\,\Omega$$

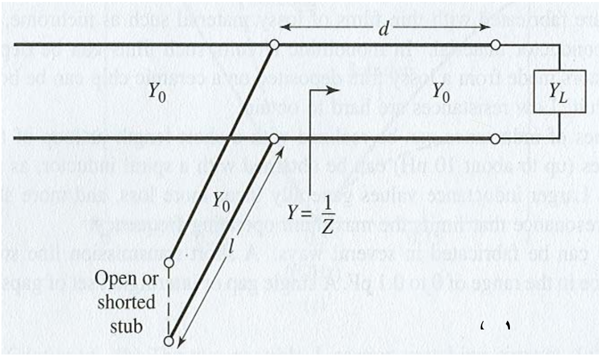
ملحوظة :

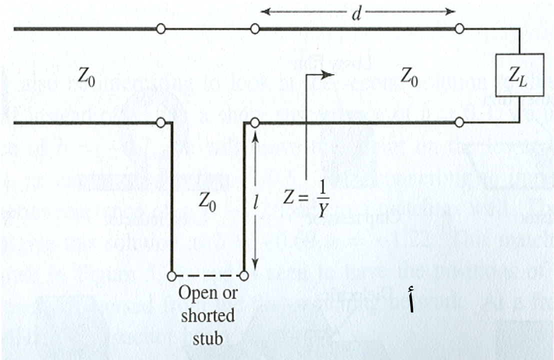
استعمال المحول λ/4 يشترط أن يكون الخط بطبيعة الحال دون فقد وتردد ثابت لعلاقة طول المحول بطول الموجة .

ب. الموفقة بمعاوقة معلومة .

في حالة معاوقة الحمل تمثل معاوقة مركبة (Complex impedance $Z_L = R + jX$)

يجب إيجاد ما يسمى بقطاع تثبته قبل الحمل إما بالتوالي أو بالتوازي ، ما من شأنه أن يحول R إلى Z_0 ويصفر القيمة التخيلية X . هذا القطاع يمكن أن يكون مفتوحا أو مغلقاً من جهته الثانية كما هو مبين بالشكل الآتي:





شكل ٤ : قطاع بالتوالي(أ) أو بالتوازي (ب) مع الحمل مغلق أو مفتوح

فالمشكلة المطروحة الآن هو إيجاد كم مسافة من الحمل إلى القطاع يجب وضع القطاع d من ناحية ومن ناحية طول القطاع l وهذا يتطلب إيجاد معادلتين مختلفتين ذاتا نواقص المسافة d والطول l

يمكن حل المشكلة هذه رياضياً بوضع هاتين المعادلتين ثم إظهار النواقص منها ولكن الحل يطول ويمكن أن يتسبب في أخطاء رياضية لهذا السبب يمكن اللجوء إلى طريقة رسومية سهلة تساعدنا على حل هذه المشكلة باستعمال مخطط سميث .

4 . مخطط سميث :

ظهر مخطط سميث أول مرة عام ١٩٣٩ على أنه طريقة مرئية (بيانية) لحل و تبسيط الرياضيات العقدية (هذا يعني الحسابات بواسطة المتحولات (X+JY) المستخدمة في مميزات الموجات الدقيقة.

وبالرغم من هذا فإن الآلات الحاسبة و الحواسيب تستطيع أن تقوم بجزء من العمل المخصص لمخطط سميث ، وبغض النظر فإن مخطط سميث كغيره من الطرق الحسابية التخطيطية المساعدة ، يبقى أداة مهمة .

قال مخترع مخطط سميث (فيليب سميث: (Philip H.Smith) من الوقت الذي استطعت أن أقوم فيه بتطبيق جزء من قانون معين ، أصبحت مهتماً بإمكانية تمثيل العلاقات الرياضية بشكل مرئي"

قبل الشروع في تحليل مخطط سميث (Smith Chart) علينا أن نتقيد بهذه المفاهيم .

أ. **المعاوقة المغيَّرة** Normalized Impedance – z

$$z=\frac{Z}{Z_o}=\frac{R+jX}{Z_o}=\frac{R}{Z_o}+j\frac{X}{Z_o}=r+jx \quad (٩)$$

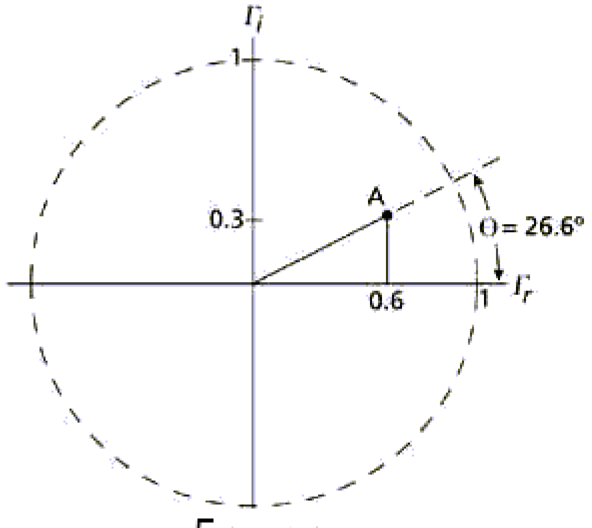
- $r=\frac{R}{Z_o}$ المقاومة المغيَرة - Normalized Resistance
- $x=\frac{X}{Z_o}$.المرادة المغيَرة – Normalized Reactance
- x<0 - المرادة المغيَرة سعوية –Normalized Reactance Capacitive
- x>0 - المرادة المغيَرة حثية – Normalized Reactance Inductive

ب. **السماحية المغيَرة y**

$$y=\frac{Y}{Y_o}=\frac{G+jB}{Y_o}=\frac{G}{Y_o}+j\frac{B}{Y_o}=g+jb \quad (١٠)$$

- $g=G.Z_o$ الإيصالية المغيَرة - Normalized Conductance
- $b=B.Z_o$ التقبلية المغيَرة - Normalized Susceptance
- b>0 - التقبلية المغيَرة السعوية - Normalized Susceptance capacitive
- b<0 - التقبلية المغيَرة الحثية - Normalized Susceptance Inductive

ج. إن مخطط سميث يحول من الإحداثيات المتعامدة بالمستوى المعقد إلى نموذج من الدوائر يمكن أن يعطي وبشكل دقيق مستوى عامل الانعكاس المعقد للشكل ٥ .



الشكل5

د. علاقة معاوقة العمل مع معامل الانعكاس

$$Z = Z_o \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \qquad (١١)$$

أو عن طريق القيم المعايرة للممانعة

$$z = \frac{Z}{Z_o} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \qquad (١٢)$$

إذا اعتبرنا أن معامل الانعكاس هو عدد مركب $\Gamma = p + jq$

وعوضنا هذه القيمة في المعادلة (١٢) مع العلم أن $z = r + j\,x$ في هذه الحالة يمكن كتابة

$$r + jx = \frac{1+p+jq}{1-p-jq} \qquad (١٣)$$

إذا اعتبرنا أن العددين مركبين متساويين فالقيمة الحقيقية من الأول تساوي القيمة الحقيقية من الثاني ونفس الشئ بالنسبة للقيمة التخيلية في هذه الحالة يمكن كتابة معادلة (١٣) في شكل معادلتين على النحو التالي :

$$r = \frac{(1+p)(1-p)-q^2}{(1-p)^2+q^2} = \frac{1-p^2-q^2}{(1-p)^2+q^2} \qquad (١٤)$$

$$x = \frac{(1+p)q-(1-p)q}{(1-p)^2+q^2} = \frac{2q}{(1-p)^2+q^2} \qquad (١٥)$$

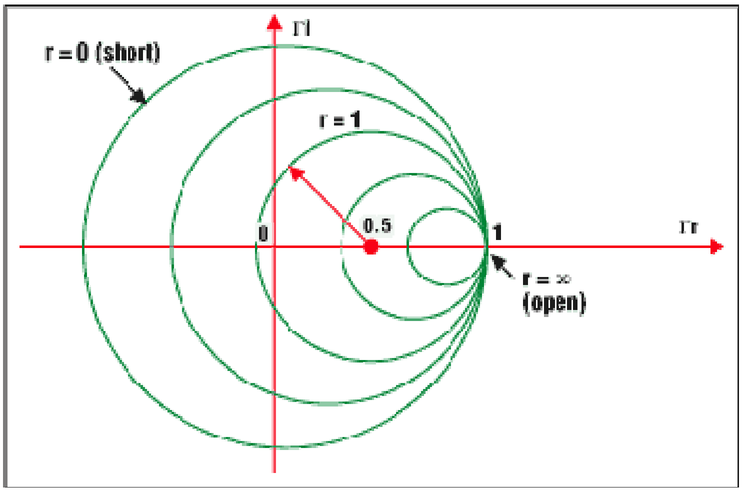
هتا المعادلتان(١٤) و (١٥) هي أساس تكوين ورسم مخطط سميث وتعطي بالفعل عائلتين مختلفتين من المنحنيات

العائلة الأولى r ثابتة (r = const)

من المعادلة (١٤) نستنتج بعد بعض التحويلات الرياضية :

$$q^2 + \left(p - \frac{r}{r+1}\right)^2 + \frac{(r-1)(r+1) - r^2}{(r+1)^2} = \left(\frac{1}{r+1}\right)^2$$

هذه عبارة عن معادلة مجموعة من الدوائر مركزها هو $\left[p = \frac{r}{1+r};\ q = 0\right]$ ونصف قطرها هو $\frac{1}{1+r}$



شكل ٦ – دوائر تمثل r=const

من خصائص هذه الدوائر

1 . كل دوائر هذه المجموعة تمر في نقطة واحدة هي (p = 1,q = 0) وكل هذه الدوائر محاذية لهذه النقطة (Tangent)

2 . أصغر دائرة في هذه المجموعة هي نقطة (p = 1,q = 0) ونصف قطرها يساوي صفر .

3 . أكبر دائرة في هذه المجموعة مركزها في الوسط الثنائي (p = 0,q = 0) وكل الدوائر تكون في وسط هذه الدائرة .

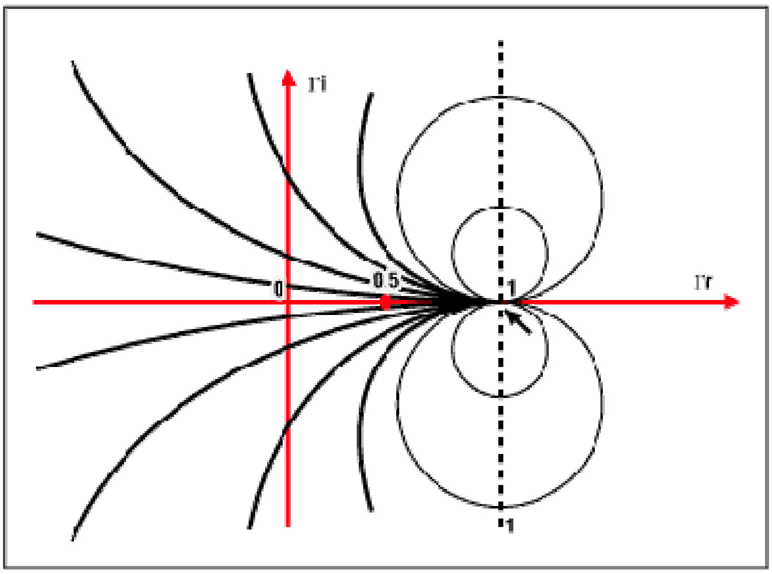
4 . كل دائرة في الدوائر تمثل مجموعة معاوقات r = const و x = 0 يعني معادلة أومية المحتوى

العائلة الثانية x ثابتة (x = const)

من المعادلة (١٥) نستنتج بعض التحويلات الرياضية :

$$(p-1)^2+\left(q-\frac{1}{x}\right)^2=\left(\frac{1}{x}\right)^2$$

هذه عبارة عن معادلة مجموعة من الدوائر مركزها هو $\left[p=1;\ q=\frac{1}{x}\right]$ ونصف قطرها هو $\frac{1}{x}$



شكل ٧ – دوائر تمثل x=const

من خصائص هذه الدوائر

1 . كل دائرة من هذه المجموعة تمر في نقطة واحدة هي (p = 1,q = 0) وكل هذه الدوائر محاذية لهذه النقطة (Tangent)

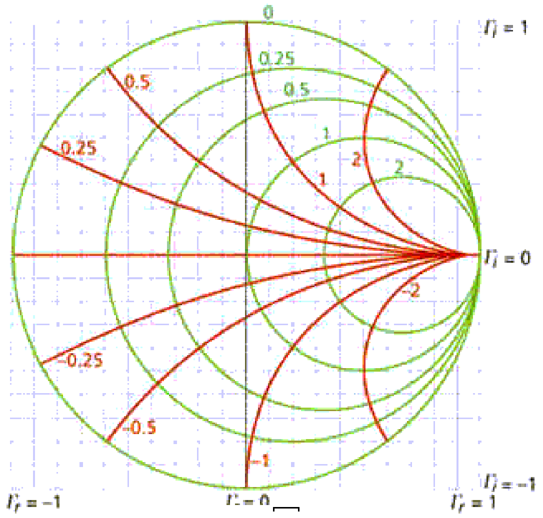
2 . أصغر دائرة في هذه المجموعة هي نقطة (p = 1,q = 0) ونصف قطرها يساوي صفر .

3 . أكبر دائرة في هذه المجموعة مركزها في المالانهاية وهي تمثل نفس المحور p .

4 . كل دائرة من الدوائر تمثل مرادة معَيرة بالنسبة للممانعة الذاتية Z_0 أي أن الممانعة الجملية هي ممانعة خالية من الطرف الأومي .

٥. بما أن هذه المرادة ممكن أن تكون إيجابية (ملفية) أوسالبة (مكثفية) فالمعايرة ممكن ان تكون إيجابية أو سلبية أي أن x ممكن أن $x > 0$ أو $x < 0$ حيث توجد $x > 0$ من فوق أما $x < 0$ فهي في الأسفل كما هو مبين في الشكل7 .

الشكل٨ يبين المجموعتين من الدوائر مع بعضها البعض و تمثل كل المخطط بدون المقاييس الجانبية



الشكل 8

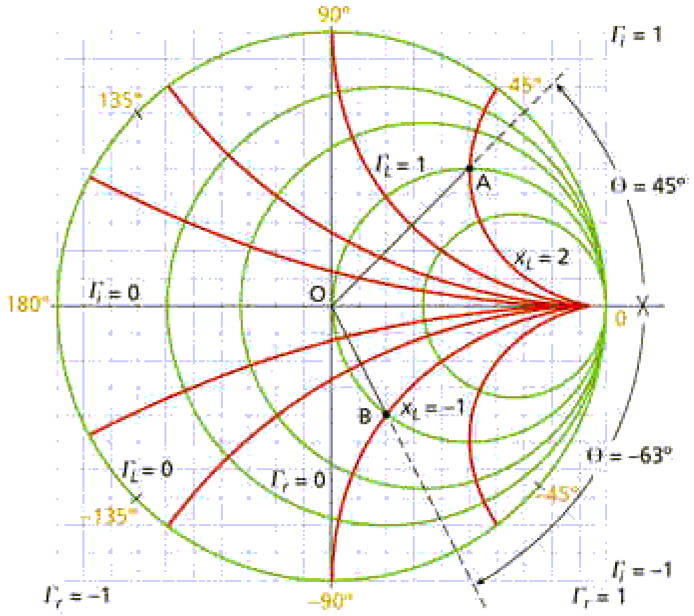
الباب الرابع : أمثلة تطبيقية

نموذجياً ، قد ترغب في معرفة قيمة عامل الانعكاس المركب عند قيمة حمل معينة ، لنظام بممانعة معطية ، على اعتبار –مثلاً- كان لدينا ممانعة معَيرة بقيمة $z_L=1+2j$ يمكن أن تحدد النقطة المحددة على مخطط سميث وذلك بمنطقة دائرة المقاومة الصرفة ذات نصف القطر $r_L=1$ وقيمة الممانعة الصرفة $x_L=1$ الممثلة بالقوس الدائري وذلك بالشكل 9 ولتكن هذه النقطة هي A

يمكن أن نقرأ مباشرة قيمة عامل الانعكاس المركب $\Gamma = 0.5 + J0.5$: أو $\Gamma = 0.707/45°$ للتحديد على المخطط القطبي قم بالوصل ما بين النقطتين ٠ (المركز) و النقطة A ، نقطة تقاطع القوس مع دائرة الـ$r_L=0$ ، وبالقياس بالمنقلة نحدد الزاوية.

العديد من برامج مخططات سميث تتضمن منقلة تقيس على محيط دائرة $r_L=0$ مقياس كهذا موضح بالشكل ١٠ .

كمثال آخر ، ممانعة المعايرة بقيمة $1-1j$ تحدد بالنقطة B على المخطط بالشكل ٩ ، عند النقطة B يمكن أن نحدد قيمة عامل الانعكاس $\Gamma = 0.2 - J0.4$ أو $\Gamma= 0.45/-63°$ مع الملاحظة أن هذا المثال يحدد قيمة ممانعة معيارية لنظام بممانعة ذات قيمة و القيم الحقيقية للممانعة عند A هي $Z_A=50+j100$ و $Z_B=10-J20$ عند النقطة B .



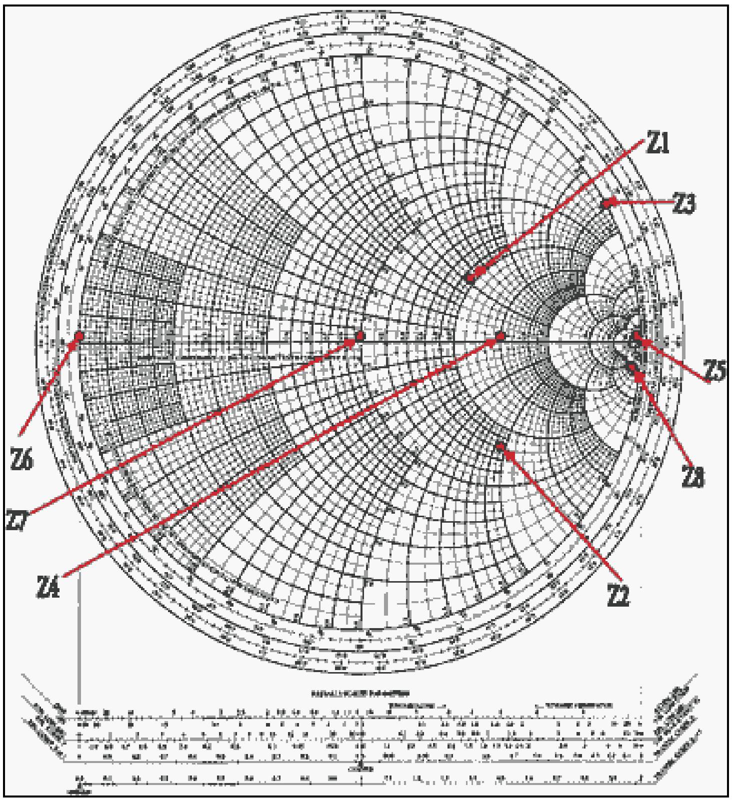
شكل 9

هذه أمثلة تعطي فكرة أوضح عن كيفية رسم موقع المعاوقات على مخطط سميث التي تمثل نقطاً في حدود الدائرة الكبرى لمخطط سميث كما هو مبين في شكل ١١

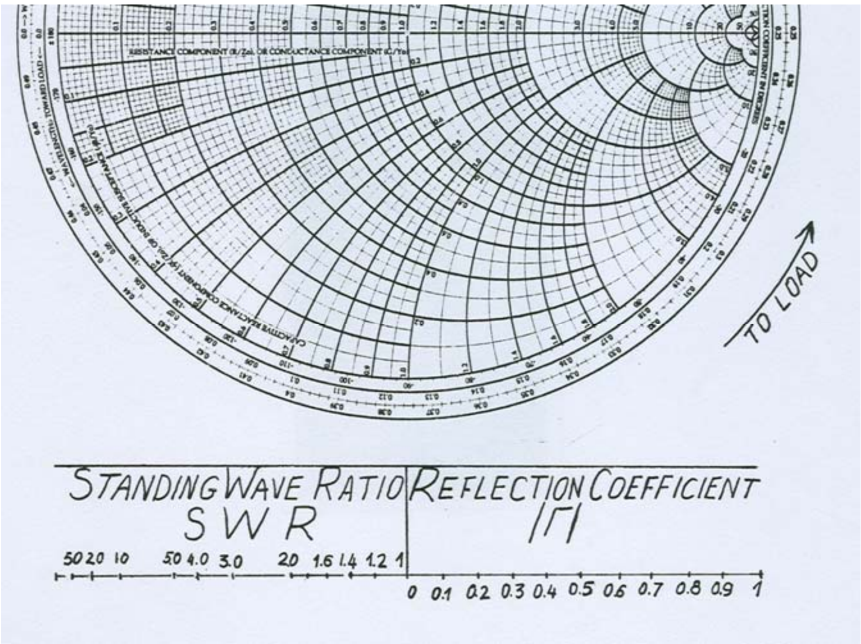
$z_1 = 2 + j$	$z_2 = 1.5 -j2$	$z_3 = j4$	$z_4 = 3$
$z_5 = 8$	$z_6 = 0$	$z_7 = 1$	$z_8 = 3.68 -j18$

نسبة الأمواج المستقرة (S.W.R):

يمكن أن يساعد مخطط سميث في تحديد نسبة الأمواج المستقرة من قيمة عامل الانعكاس من المقاييس الجانبية لمخطط سميث من تحت و التى يمكن تحديدها عن طريق فرجال و ذلك بمجرد فتحه في وسط السلم انظر إلى الشكل اسفله(شكل١١).


Z1
Z2
Z3
Z4
Z5
Z6
Z7
Z8

شكل ١٠


TO LOAD
STANDING WAVE RATIO
SWR
REFLECTION COEFFICIENT
|Γ|
50 20 10 5.0 4.0 3.0 2.0 1.6 1.4 1.2 1
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1

شكل ١١

تقنيات المكروويف و الأقمار الصناعية

مسارات موجات المايكرويف

مسارات موجات المايكرويف

٥

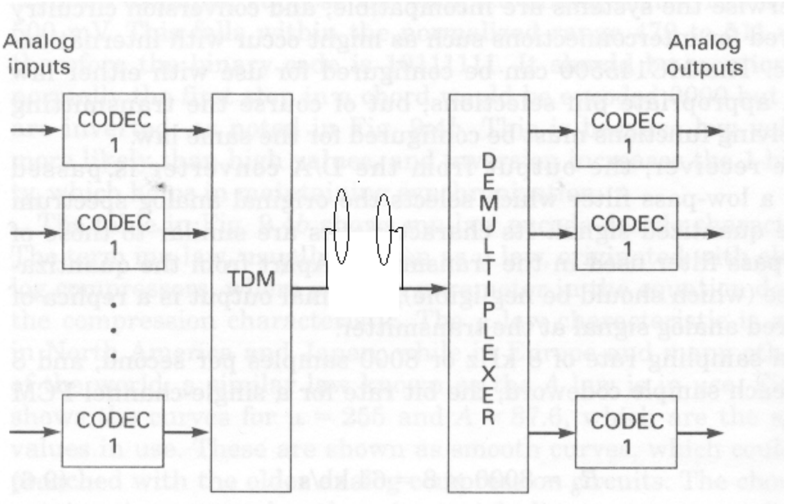
الوحدة الخامسة : مسارات موجات المايكروويف

الأهداف :

تهدف هذه الوحدة لاعطاء المتدرب فكرة شاملة عن مسارات الموجات بصفة عامة والمايكروويف بصفة خاصة حيث يتمكن المتدرب من أخذ فكرة عن كيفية إنجاز ودراسة مسار الموجات الدقيقة والربط بين محطات المايكروويف مع التعرف على إمكانية حساب خصائص الربط من فقد وتداخلات واضمحلال وكيفية مواجهاتها وكذلك حساب قوة الاشتغال وخصائص أبراج المحطات وربط المايكروويف بما فيها الهوائيات

مقدمة :

إن تطور الاتصالات الحديثة وكثرة المستعملين لموارد الاتصالات أدى إلى البحث عن وسائل نقل في تغذية الاتصالات ذات سعة نطاق واسعة لتحميل العدد الكبير المتزايد لمستعملي شبكات الاتصالات وهذا استوجب استعمال الموجات ذات الترددات العالية جداً في مجال المايكروويف للربط بين محطات شبكات الاتصالات .



شكل ١ : ربط مايكرويف بين مقسمين

مثال ذلك استعمال المايكروويف في أكبر شبكة ألا وهي شبكة الهاتف حيث يستعمل الربط عن طريق المايكروويف عن طريق مقاسم المدن لنقل آلاف المكالمات (الشكل١).

نتيجة لخصائص موجات المايكروويف التي لا تتأثر بطبقات الأينوسفير فإن ربط المايكروويف (Microwave Link) يستعمل للربط بين المحطات الأرضية عن طريق الأقمار الاصطناعية وهو ما ستنفرد به الوحدة بالتفصيل .

الباب الأول : انتشار موجات المايكروويف :

إن انتشار موجات المايكروويف يتم عادة على خط البصر (LOS – Line Of Sight) أي أن إشارات المايكروويف تنتشر على الخط الرابط بين نقطة الإرسال ونقطة الاستقبال . وذلك نتيجة لخصائص الهوائيات المستعملة في ربط المايكروويف .

١. خصائص هوائيات المايكروويف :

تعتبر هوائيات ذات الفتحة هي الأكثر استعمالاً في الربط عن طريق المايكروويف ومن بينها البرابول لما تتميز به هذه الهوائيات المستعملة في ربط المايكروويف بعلو قيمة كسبها وذلك حسب العلاقة

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \qquad (1)$$

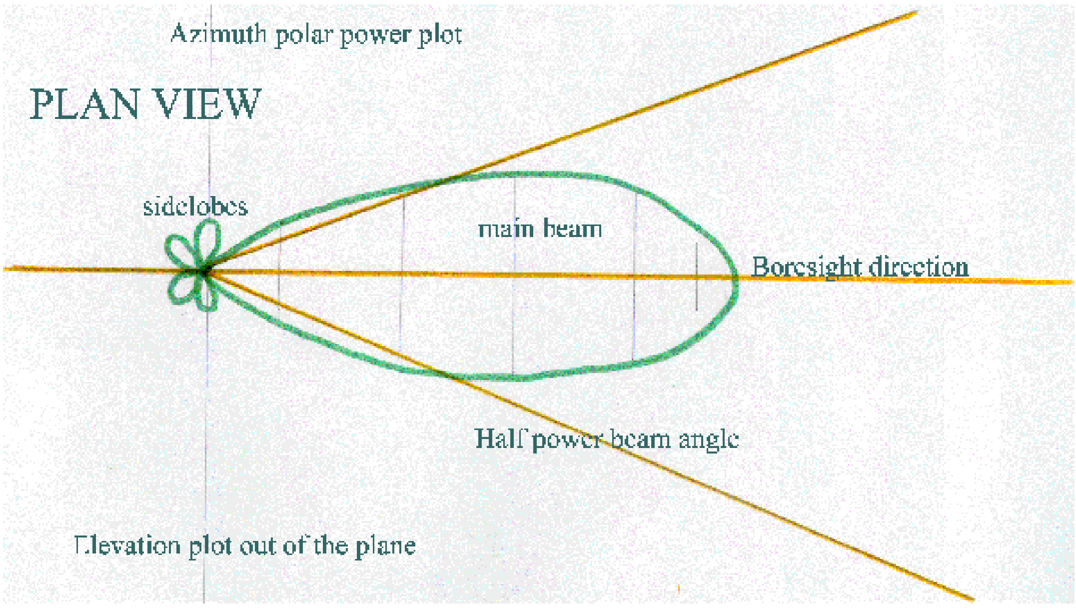
حيث A_e – الفتحة الفعالة للهوائي

λ - هي طول الموجة

وحيث إننا في مجال الموجات المتناهية القصر فإن الكسب يكون متناسباً عكسيا مع طول الموجة .

كما يمتاز الهوائي في المايكروويف بعلو توجهه حيث إن فتحة الشعاع عن نصف القوة تكون صغيرة ومتناسبة مع طول الموجة حسب العبارة الآتية :

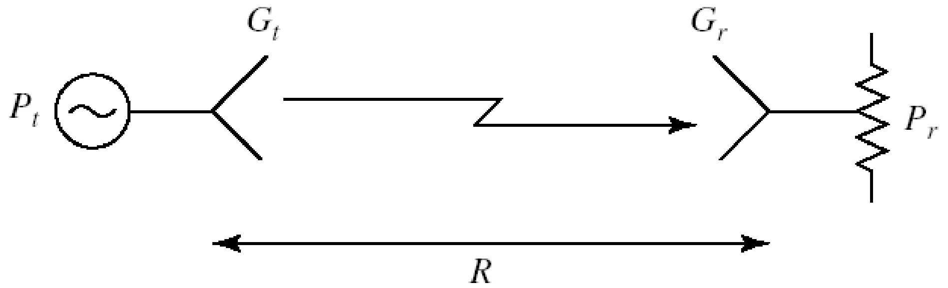
$$\theta_{3db} = \frac{70\lambda}{D} \qquad (2)$$



شكل ٢ : فتحة الشعاع عن نصف القوة

هذه الميزات صالحة عند استعمال الهوائي في الإرسال أو في الاستقبال على حد سواء نتيجة لما يعرف في الهوائيات بخاصية مبدأ التعاكسية (Reciprocity Principle) ولذلك عند استعمال هذه الهوائيات في ربط المايكروويف وخاصة نتيجة لعلو التوجيه وانحصار الموجة في فتحة إشعاع صغيرة جداً فإنه يستوجب علينا أن نضع هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال على خط واحد أي في نفس الارتفاع على الأبراج بحيث ينظر هوائي الاستقبال إلى هوائي الإرسال ومنها أتت عبارة خط البصر (Line of Sight)

٢. **معادلة الانتشار :**



إذا اعتبرنا ربط المايكروويف بين محطتين تبعد عن بعضهما البعض بمسافة R وطاقة جهاز الإرسال (Tx) هي P_t ، فإنه يتعين علينا إيجاد طاقة الاستقبال P_r بواسطة خصائص الهوائيات المستعملة للربط عند تردد **f** ثابت للإشارة .

من المعلوم أن كثافة الطاقة المستعملة على بعد R من طرف الهوائي المثالي المشع في جميع الاتجاهات (Isotropic) هي:

$$S = \frac{P_T}{4\pi R^2} \qquad (٣)$$

إما في حالة هوائي عملي كهوائي البارابول المستعمل في المايكروويف ذي كسب G_t فإن كثافة الطاقة المشعة تصبح :

$$S = \frac{P_T}{4\pi R^2} G_T \qquad (٤)$$

فإذا اعتبرنا أن هوائي الاستقبال موجود في مجال هذه الكثافة المشعة فإن الطاقة الجملية P_r التي يمكن أن يستقبلها تحدد بقيمة فتحته الفعالة A_e حسب العلاقة التالية :

$$P_r = S.\ A_e$$

ويمكن التعبير عن المساحة الفعالة عن طريق كسب هوائي الاستقبال G_r انظر إلى العلاقة (١) فتصبح P_r تساوي :

$$P_r = \frac{S G_r \lambda^2}{4\pi}$$

العبارة التالية يمكن كتابتها على النحو التالي :

$$P_r[W] = \frac{P_T G_T G_r}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2}$$

وتسمى معادلة الانتشار هذه معادلة FRIIS

ويمثل الحد التحتي في معادلة الانتشار FRIIS فقد الانتشار في الفضاء الحر .

(FSLP – Free Space Loss Propopation)

$$L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda^2}\right)^2$$

ويمكن كتابة معادلة فريز بتحويل W إلى dbw والأرقام بدون وحدة إلى dB بعد أخذ 10 Log للطاقة المستقبلية .

Pr [dBw] = Pt [dBW] + Gt [dB] + Gr [dB] – L [dB]

كما يمكن كتابة فقد الانتشار في الفضاء الحر

L[db] = 92,4 + 20 log **f** [GHz] + 20 log d [km]

تمرين ١ : مثال حساب

مسار موجات ميكرويف طوله R=2km ويعمل على تردد **f** =5.8 GHz

احسب فقد الانتشار لهذا المسار

الحل :

حسب العلاقة أعلاه ينتج

L = 92.4 + 20 log 5.8 + 20 log2

L = 113.6 dB

تمرين ٢ :

في مسار انتشار موجات المايكروويف حيث طاقة الإرسال تبلغ 12 dBm ويبعد برجا المسار عن بعضهما بمسافة R = 40 km ويحملان هوائيات بكسب يساوي G = 40 dB لكل واحد من الهوائيات ويبث جهاز الإرسال على تردد **f** = 12GHz

احسب الطاقة عند برج الاستقبال

ملحوظة :

إذا أخذنا كمرجع الطاقة P = 1 mw عند التحويل إلى اللوغرثيم يكون بـ dBm

وتصبح الطاقة المستقبلة بـ Pr [dbm]

$$Pr\,[dbm] = 10 \log(Pr\,[mw] / 1mW)$$

الحل :

$$Pr\,[dbm] = Pt\,[dbm] + G[db] + Gr\,[db] - L\,[db]$$

يجب علينا أن نجد الفقد في الفضاء الحر

$$L[dB] = 92.4 + 20 \text{ Log } 12 + 20 \text{ Log } 40$$
$$= 146 \text{ db}$$
$$Pr = 12 + 40 + 40 - 146 = -54 \text{ dbm}$$

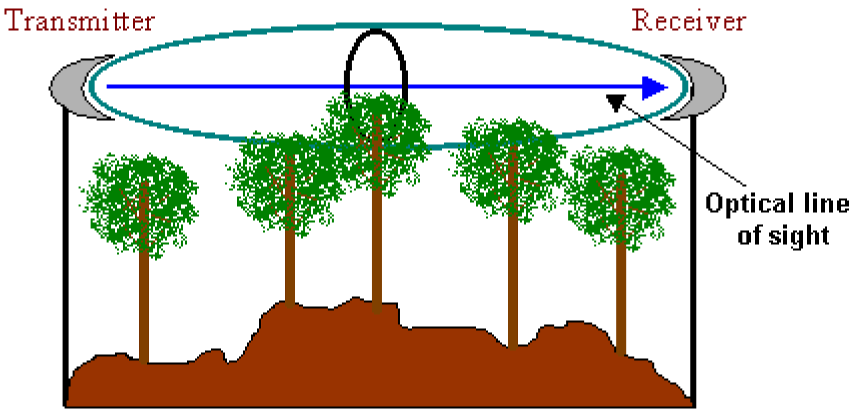
هام جداً :

معادلة انتشار الموجات Friis لا تعطي ضماناً أن مسار موجات المايكروويف جيد أي أن طاقة الاستقبال قد تكون أقل بكثير مما تنتجه علاقة Friis في المسار الحقيقي نظراً لعدم أخذ الفقد والاضمحلال والتداخلات وعدة عوامل أخرى تؤثر على الانتشار كالانعكاس متعدد الطرق (Multipath Reflection) بالاعتبار .

وعلاقة Friis تصلح لغايات إثبات تصميم المسار مبدئياً لأنها تفترض أن مجال الانتشار هو مجال حر ومثالي.

الباب الثاني : منطقة فرينال Fresnel :

يجب أن تكون منطقة فريسنال بين الإرسال والاستقبال في مسار المايكروويف خالية من جميع العقبات المؤثرة على انتشار الموجة. ومنطقة فرينال (Fresnel Zone) هي خط البصر اللاسلكي (Radio Line of Sight) وهو مغاير لخط البصر الضوئي (Optical Line of Sight) حيث تنظر نقطة الاستقبال إلى نقطة الإرسال، بما أن موجات المايكروويف لها تردد أدنى من موجات الضوء لذلك فإنها تتأثر بشكل مختلف عن الضوء نتيجة وسط الانتشار.



فقد يكون خط البصر الضوئي بين نقطة الاستقبال ونقطة الإرسال خالياً من العوائق ورغم ذلك يكون مسار موجات المايكروويف (microwave Link) غير مجدٍ لوجود عوائق في خط البصر اللاسلكي كما هو مبين في الصورة أعلاه .

وهذا ناتج لأن الموجة الكهرومغناطيسية لا تنتشر على خط مستقيم وإنما تتوسع في حزم عند انتشار ها حسب طول الموجة وهو ما يولد ما يسمى منطقة مايس بمنطقة فريسنال (Fresnel Zone) بين الإرسال والاستقبال .

الباب الثالث : إدخال عامل التشويش

كما هو معلوم في جميع أنظمة الاتصالات فإن الإشارة المفيدة تكون عرضة للتشويش ووجود إشارات فوضوية مجتمعة معا وهو ما يسمى بالتشويش وهي عبارة على إشارات فوضوية ذات سعة وتردد متغيرين .وتتأتى إشارات التشويش من مصادر مختلفة وخاصة أنظمة الاتصالات والمايكروويف وفي جميع الحالات فإن مستوى التشويش في نظام المايكروويف يحدد الحد الأدنى لقوة الإشارة التي يمكن استقبالها مع وجود التشويش ولذلك في كثير من الحالات يتوجب العمل على تخفيض مستوى الإشارة في أجهزة الاستقبال في مسارات المايكروويف وكذلك الرادار حيث يكون مستوى الإشارة ضعيفا أساسا .

المجال الديناميكي للأجهزة ومصادر التشويش :

بما أن القدرة المستقبلية في أجهزة مسارات المايكروويف تكون صغيرة فإن قيم الإشارة التي يمكن الاستفادة منها هي التي تكون فوق مستوى التشويش وأدنى من مستوى الإشباع لعناصر جهاز الاستقبال وهو المجال الديناميكي لجهاز الاستقبال .

إما مصادر التشويش في مسار المايكروويف فهي تتأتى من جهات مختلفة أهمها :

أ. جهاز الاستقبال .

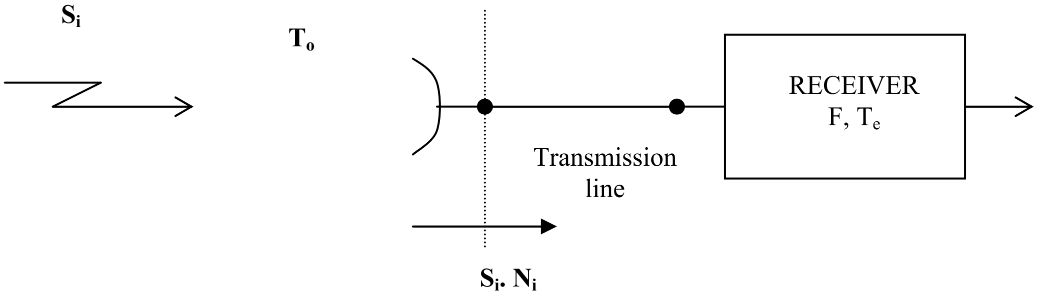
ب. الهوائي .

ج. وسط الانتشار .

أما التشويش بالنسبة لوسط الانتشار فهي تتأتى من العوامل الخارجية المؤثرة الطبيعية (المطر والبخار المائي الجوي و وميض برقي) وغير الطبيعية (محركات و أجهزة إرسال) على خصائص الوسط .

وهي بالتالي تؤثر على الإشارة عند مرورها بذلك الوسط أما بالنسبة للهوائي فيتأثر عامل التشويش حسب اتجاه الهوائي بالنسبة للشمس وهو عادة من النوع البرابول في نظام المايكروويف .

أما جهاز الاستقبال فالجزء الكبير من التشويش تأتي منه حيث يحتوي على عناصر إلكترونية فعالة و مقويات أو محولات الإشارات حيث تعمل الحرارة على زيادة الشحنات الإلكترونية وبالتالي زيادة التشويش



وتحسب قوة التشويش حسب القانون الآتي بالنسبة للشكل أعلاه

$$N = k (T_e + T_o) B$$

k – ثابت بولستمان (Bolzman Const) $k = 1.38.10^{-23}$ W/Hz/K .

T_e – الحرارة المكافئة من جهة جهاز الاستقبال .

B – سعة النطاق [Hz] .

T_o – الحرارة من جهة هوائي الاستقبال

فالحرارة المكافئة تستخلص من درجة الحرارة المعتدلة ($T_o = 300\,^{\circ}K$) ومعامل التشويش F حيث إن

$$T_e = T_o (F - 1)$$

وقانون قوة التشويش يصبح

$$N = k (T_O (F - 1) + T_o) B$$
$$= k (T_o F - T_o + T_o) B$$

$$N = k T_o . F . B$$

أما مقام الإشارة على التشويش فهو كالآتى :

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{P_r}{N} = \frac{P}{kT_e.B} = \frac{P_r}{kT_oF.B}$$

فعادة في التقنيات الرقمية يستعمل مقام الطاقة بالنسبة للبث على كثافة طاقة التشويش على النحو التالي :

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \frac{P_rT_b}{\frac{N}{B}} = \frac{P_rT_b.B}{N.}$$

- T_b - زمن الواحد بت $T_b=1/R$
- R - سرعة نقل المعلومات (Bit Rate)

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \frac{P_r.B}{N.R} =$$

ويعتبر مقام القوة المستقبلية على قوة التشويش هو المقياس لدرجة التشويش في نظام استقبال المايكروويف

من العلاقة أعلاه يستفاد التالي :

أ. كلما ارتفعت حرارة جهاز الاستقبال كلما ارتفعت التشويش .

ب. كلما كانت سعة النطاق كبيرة كلما ازدادت التشويش .

ج. كلما انخفض عامل التشويش F في الانباطة كلما انخفضت التشويش .

لذلك عند اختيار الأجهزة التي تدخل في تركيب مسار المايكروويف يجب اختيار عامل تشويش مناسب حتى يكون استقبال الإشارة بشكل متيسر

مثال :

من مسار مايكروويف ذي تردد $f = 12GHz$ لدينا التالي

١. فقد الانتشار في الهواء الحر $\alpha = 80$ db .

٢. الفقد الناتج عن تغذية جهازي الاستقبال والإرسال L=3 dB .

3. $G_T = G_r = 20$ db

4. عامل التشويش F=5 dB

5. القوة المشعة الفعلية P_t=1W

6. سرعة نقل المعلومات R=10 Mbps

7. سعة النطاق B=500kHz

حدد القوة المستقبلة من طرف جهاز الاستقبال و مقام الطاقة لواحد بت بالنسبة لكثافة التشويش

$$\mathrm{Pr} = \frac{P_t.Gt.Gr}{\alpha L} = \frac{1.100\ .100}{10^8.10^{0.3}} = 5.10^{-6}W$$

$$N = kT_o.F.B = 1.38.10^{-23}.300.10^{0.5}.500.10^3 = 1.3.10^{-17}W$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \frac{P_r.B}{N.R} = \frac{5.10^{-6}.500.10^3}{1.3.10^{-17}.10^6} = 1.9.10^{11}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{dB} = 112.8dB$$

تقنيات الماكروويف و الأقمار الصناعية

مقدمة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية

الوحدة السادسة : مقدمة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية

الأهداف :

تمكن هذه الوحدة المتدرب من استيعاب تقنيات الاتصالات الحديثة عبر الأقمار الاصطناعية التي أصبحت تغزو جل مجالات الاتصالات اللاسلكية مثل الهاتف النقال والربط الهاتفي بين الدول والبث التلفزيوني والإذاعي ونقل المعلومات وتحديث المواقع الجغرافية والعديد من التطبيقات الحديثة التي لا غنى للمتدرب عن معرفتها حيث يكون مواكباً للتقنية الحديثة المستعملة في عدد من القطاعات في المملكة .

وعند نهاية هذه الوحدة يكون المتدرب قد تمكن من المعرفة التالية :

- استيعاب مدلول تسميات أنواع الأقمار الاصطناعية حسب مداراتها وتطبيقاتها في تقنية الاتصالات .
- التعرف عن قرب عن الخدمات التي توفرها الأقمار الاصطناعية في مجال الاتصلات

مقدمة :

إن الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية تمكن الاتصالات من إمكانيات جديدة لا يمكن الوصول إليها بواسطة أساليب الاتصالات الأرضية ، وذلك لأن الأقمار الاصطناعية تستطيع أن تغطي مناطق شاسعة على سطح الأرض ولا تلعب الحواجز الطبيعية أي دور لمنع وصول الإشارة إلى هذه المناطق . وهي بذلك توفر إمكانيات أقل تكلفة من الناحية الاقتصادية والعملية للوصول للمناطق النائية والوعرة .

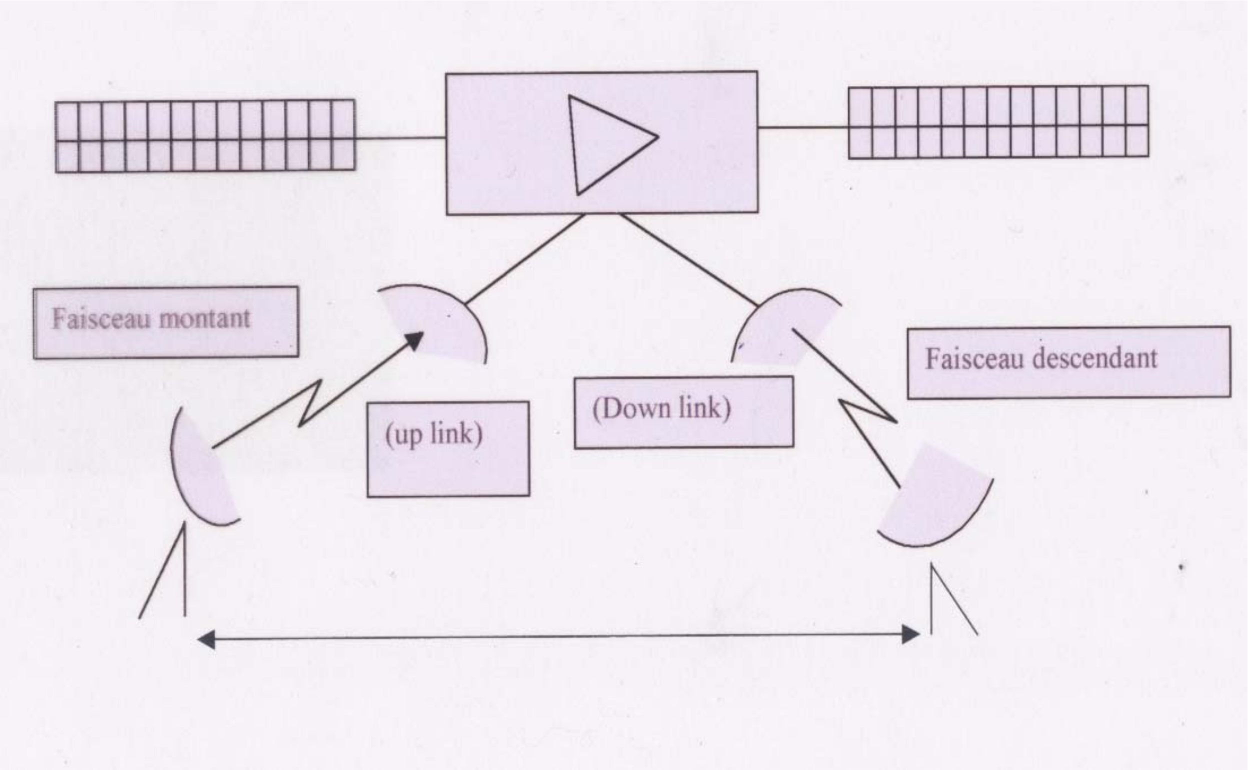
سنستعرض في هذه الوحدة تطور أجيال الأقمار الاصطناعية وأساسياتها الفيزيائية والتغذية وانواع خدماتها كما سنستعرض محاسن ومساوئ أنظمة الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية وأخيراً سنعرض بعض أمثلة أنظمة الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية .

الباب الأول : تطور الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية .

في 4 أكتوبر 1957 أطلق أول قمر اصطناعي وبدأ بالدوران حول الأرض. بين ١٩٥٩ و 1963 استعمل القمر (وهو القمر الطبيعي) كعاكس للاتصالات اللاسلكية بين واشنطن وهاواي ويمكن القول أن تقنية الأقمار الاصطناعية حتى سنة 1962 كانت تخص مجال الأبحاث والمجال العسكري . ولكن الحاجة المتزايدة و المتنامية لسعة الاتصالات (الهاتف ، تلفزيون ، بيانات ..... الخ) أدت إلى تطوير أجيال جديدة من أقمار اصطناعية خاصة بخدمات الاتصالات ويمكن تقسيم هذه الأقمار إلى ثلاثة اجيال .

أ. الجيل الأول - الخدمات الثابتة للأقمار الاصطناعية :

وهذه الأنظمة تستعمل للاتصال بين المحطات الأرضية عبر القمر الاصطناعي (Up Link - down Link) (وصلة صاعدة – وصلة نازلة) كما هو مبين في الشكل١



شكل ١: اتصال بين محطتين- وصلة صاعدة – وصلة نازلة

هذا النظام يتكون من القمر الاصطناعي ومحطات أرضية عادة ما تكون كبيرة وباهظة الثمن نظرا لتعقيدات الهوائيات المستعملة .

منذ بداية الستينات إلى منتصف السبعينات كانت الأقمار الاصطناعية صغيرة جداً وبالتالي فإن طاقة إرسالها كانت ضعيفة لذلك تستعمل هوائيات كبيرة الحجم في المحطات الأرضية مثال على ذلك محطة القمر (INTELSAT) الذى يطلق عليه اسم EARLY BIRD والذي أطلق في سنة ١٩٦٥ حيث كان قطر المحطة الأرضية يساوي تقريباً تقريباً 30 متراً لهذا السبب تكون هذه المحطات ثابتة .

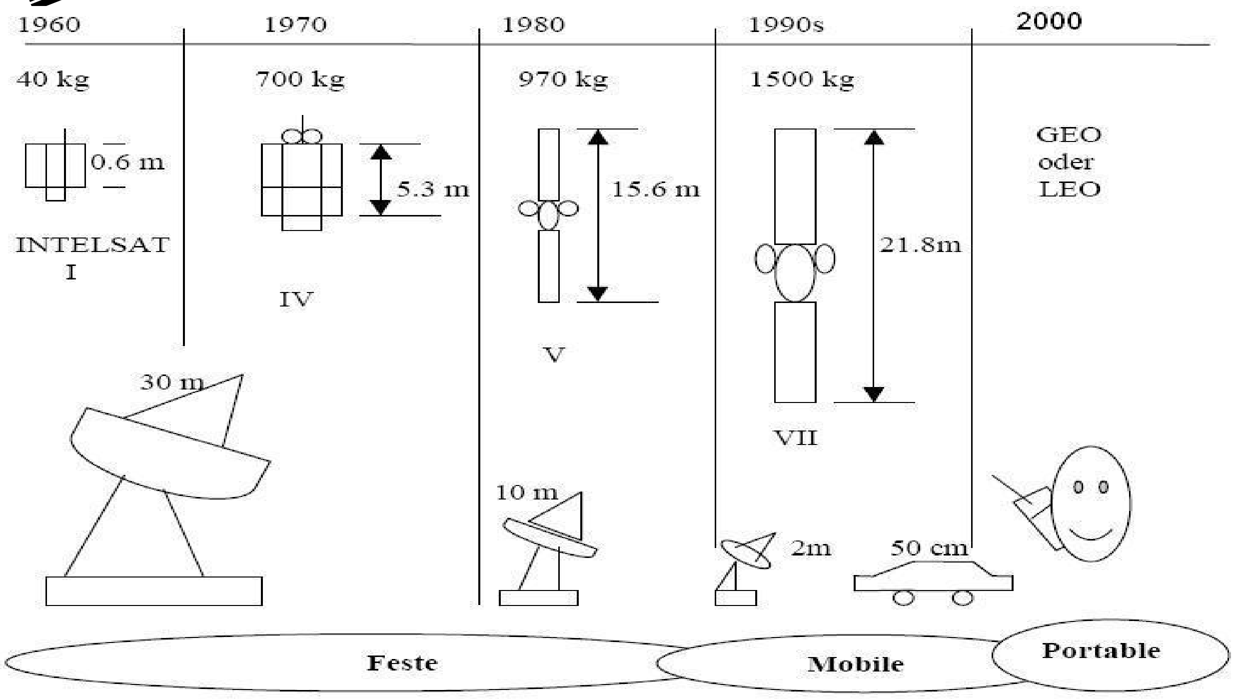
ولكن مع التقدم التقني بدأ في الثمانينات تصنيع أقمار اصطناعية أكبر حجما (حوالي 2 م) INTELSAT V الذي يبلغ وزنه 1500 كغ وهوائي أرضي ذو قطر 2 م هذه الأقمار الاصطناعية مع الهوائيات الصغيرة تسمى بأنظمة الفيسات VSAT - Very Small Seperture Terminal هذه المحطات الصغيرة أصبحت متنقلة .

ب. الجيل الثاني - أنظمة الاتصالات المتنقلة عن طريق الأقمار: مع بداية التسعينات تعمل هذه الأنظمة على الربط بين المحطات الأرضية المتنقلة والمحطات الأرضية الثابتة (GATE WAY) عبر وصلات الأقمار الاصطناعية .

هذا النظام يتركب من قمر اصطناعي ومحطة ثابتة أرضية ومحطات أرضية متنقلة (مثل بواخر وطائرات وغيرها ....) غير أن الاتصال بين المحطات المتنقلة فيما بينها لا يمكن بدون استعمال المبدلات الأرضية مثال على ذلك خدمة INMARSAT التي تستعمل للاتصالات مع المركبات المتنقلة جواً وبحراً وأرضاً .

ج. الجيل الثالث : الأنظمة المحمولة .

هذه الخدمات وفرت في القرن الحادي والعشرين إمكانية الاتصال بين أجهزة متنقلة صغيرة وقمر اصطناعي أو عدة أقمار والنظام يتركب من قمر اصطناعي وجهاز محمول يمكن له الاتصال مباشرة بالقمر الاصطناعي دون المرور بالمحطة الأرضية ، وهو نتيجة لذكاء الأقمار الاصطناعية والوظائف الجديدة في القمر الاصطناعي مثل تبديل القنوات (Channel Switching) والتشبك (Networking) والمعالجة الرقمية للإشارة (Digital Signal Processing -DSP) ومثال لهذا الجيل خدمات الثريا - ALTHOURAY .



شكل2

تنظيم مجال الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية :

إن استغلال خدمات الأقمار الاصطناعية بقي مرتبطاً بمؤسسات التشغيل الحكومية كمثل INTELSAT
INMARSAT–INTELSAT وكل هذه المؤسسات متناهية التركيب فيما بينها فهي تعتمد على الاتفاقات الدولية ويتم الأخذ بها في كل دولة على حدة وتكلف عادة الجهات المعنية بناء المحطات الأرضية وتقوم هذه المؤسسات بتقسيم الترددات على المستعملين .

الباب الثاني: توزيع الترددات حسب خدمات الأقمار الاصطناعية :

يتم توزيع موارد الترددات من طرف الاتحاد العالمي للاتصالات (ITU) وذلك لتمكين المستعملين من هذه الموارد من الاستفادة دون تضارب في التوزيع ويقسم العالم إلى 3 مناطق : منطقة1(أوروبا ، أفريقيا و روسيا)، منطقة 2 (شمال وجنوب أمريكا) ومنطقة 3 (آسيا وأستراليا وجنوب غرب المحيط الهادي) وفي هذه المناطق توزع نطاقات الترددات حسب مختلف الخدمات التي توفرها الأقمار الاصطناعية وقد يكون نطاق خدمة ما في المنطقة الأولى تختلف عن نطاق نفس الخدمة في المنطقة الأخرى .

وقد قسمت هذه الترددات إلى نطاقات و كل نطاق أسند له حرف لاتيني كرمزٍ عالمي. انظر جدول ١ و ٢.

والخدمات المقدمة من طرف الأقمار الاصطناعية وهي :

1 / الخدمات الثابتة للأقمار الاصطناعية (FSS- Fixed Satellite Service)
2 / خدمات البث الإذاعي والتلفزي والمعلوماتي (BSS - Broadcasting Satellite Service)
3 / الخدمات المتنقلة للأقمار الاصطناعية (MSS - Mobile Satellite Services)
4 / خدمات الملاحة للأقمار الاصطناعية (NSS –Navigation Satellite Services)
5 / خدمات الرصد الجوي (Meterological Satellite Services - Meteo SS)

جدول١

تسمية النطاق	الترددات بالـ GHz
UHF	0,3 ÷1
L	1 ÷2
S	2 ÷4
C	4 ÷8
X	8 ÷12
Ku	12 ÷18
K	18 ÷24
Ka	24 ÷40
Mm	40 ÷100

الترميز الجديد للنطاقات المستعملة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية :

جدول٢

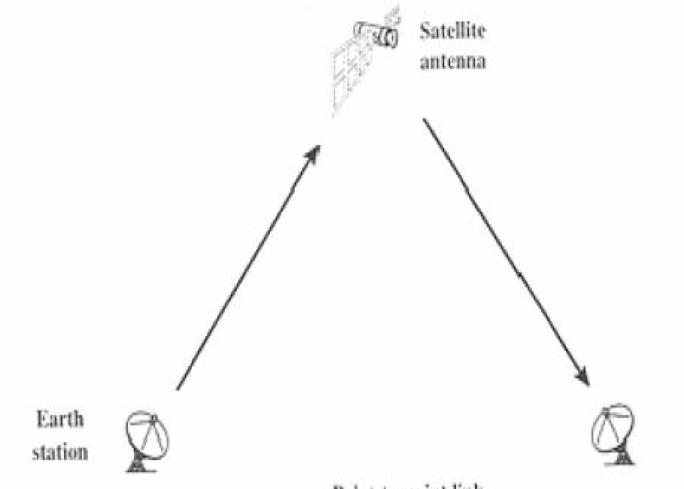
تسمية النطاق	الترددات بالـ GHz
C	0,5 ÷1
D	1 ÷2
E	2 ÷3
F	3 ÷4
G	4 ÷5,5
H	5,5 ÷8
I	8 ÷10
J	10 ÷20
K	20 ÷40
L	40 ÷60
M	60 ÷100

أنواع الخدمات باستخدام الأقمار الاصطناعية :

تتنوع الخدمات التي توفرها الأقمار الصناعية حسب أنماط الوصلات التالية :

أ. شبكات الاتصالات من نقطة إلى نقطة حيث يتم الإسال من محطة أرضية (المرسل) إلى القمر الصناعي الذي يقوم بدوره بتكبير الإشارات وإعادة إرسالها إلى محطة أرضية أخرى (المستقبل) و يوفر هذا النمط الخدمات التالية :

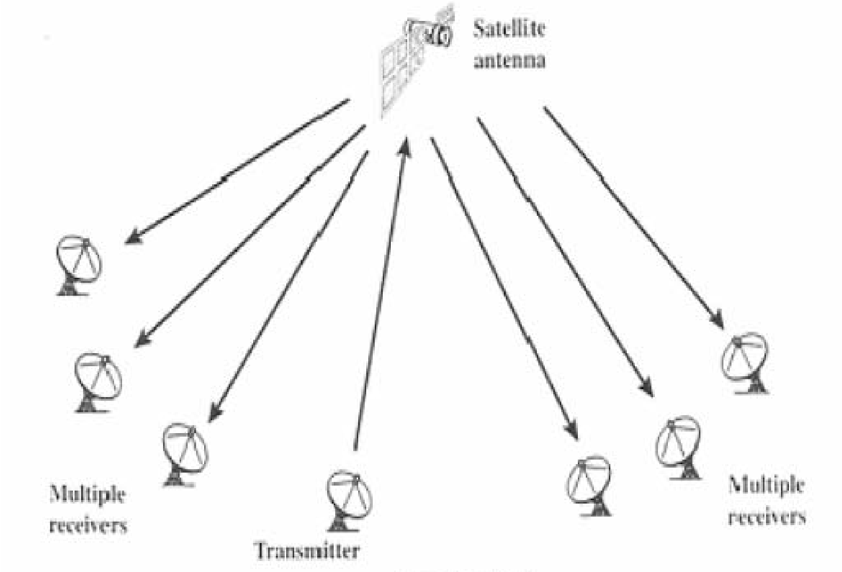
- اتصالات الهاتف الثابت لربط المناطق البعيدة أو عبر المحيطات
- الاتصالات ذات الصبغة الخاصة (مثل شبكات الاتصالات العسكرية)



Point-to-point link

ب. شبكات اتصالات الإذاعة حيث يتم الإرسال من محطة أرضية (المرسل) إلى القمر الصناعي الذي يقوم بدوره بتكبير الإشارة المستقبلة وإعادة إرسالها إلى عدد كبير من مستقبلي الإرسال الإذاعي (راديو و تلفزيون)

- خدمة البث الإذاعي والتلفزيوني DBS-Digital Broadcasting Service
- خدمة تحديد الموقع (نظام GPS-Global Positionning System)
- خدمة الاستشعار عن بعد
- الاتصالات المتنقلة مثل شبكة الثريا و INMARSAT

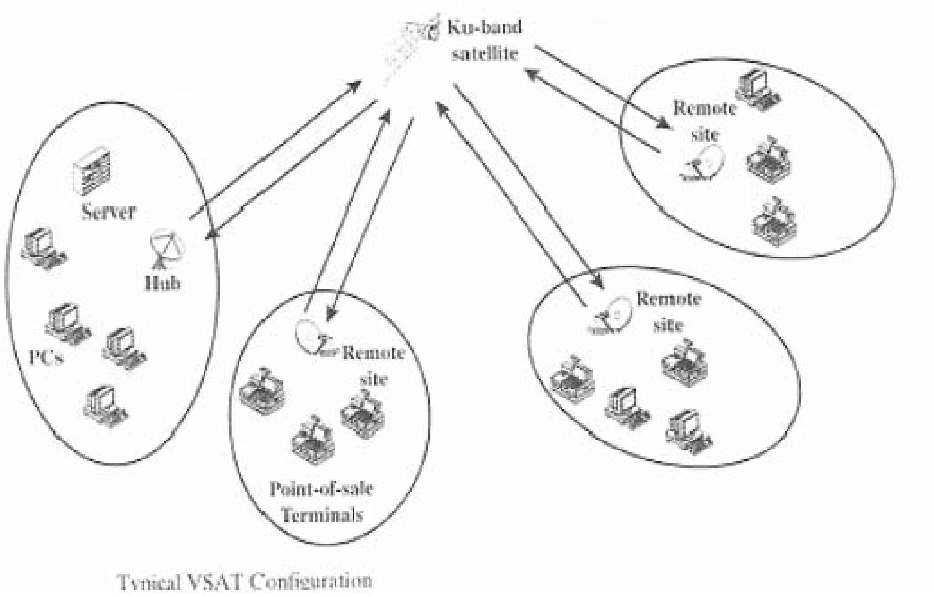


Broadcast link

ت. شبكة الطرفيات ذات المحطات صغيرة الحجم : هذا النوع من الشبكات مختلف من حيث إن المحطة الأرضية تعمل كمرسل و مستقبل في نفس الوقت و يتم الإرسال من محطة أرضية (المرسل) إلى القمر الصناعي الذي يقوم بدوره بتكبير الإشارات المستقبلة وإعادة إرسالها إلى المحطة

الأرضية المعنية عن طريق مزود الخدمات المختلفة (Hub) انظر الصورة أسفل . ويوجد نوعان من هذه المحطات :

- اتصالات البيانات لاستعمال المحطات VSAT-Very Small Aperture Terminal
- اتصالات البيانات لاستعمال المحطات USAT – Ultra Small Aperture Terminal



Typical VSAT Configuration

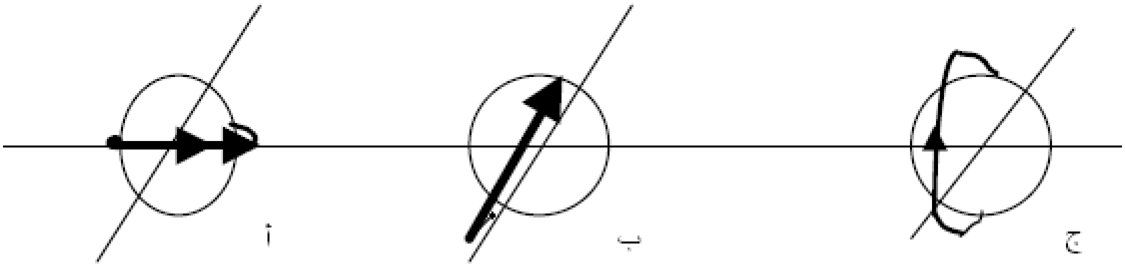
الباب الثالث : الأساسيات التقنية للأقمار الاصطناعية :

يوجد للأقمار الاصطناعية مخصصة للاتصالات 3 مدارات معتمدة .

أ. مدار على خط الاستواء .

ب. مدار على القطب .

ج. مدار متمايل بالنسبة لخط الاستواء .

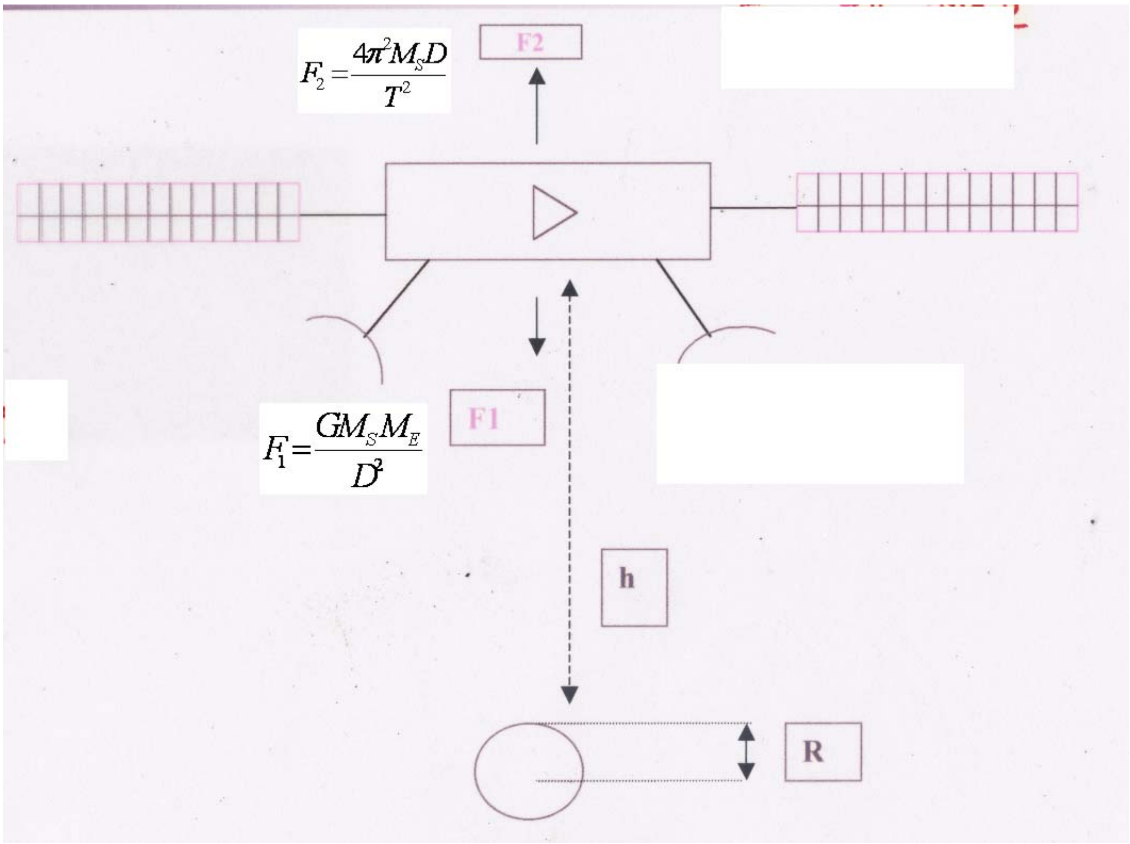


يعتبر المدار على خط الاستواء هو المناسب لاستعماله في مجال الاتصالات حيث في هذا المدار يمكن تثبيت القمر الاصطناعي بالنسبة لأي نقطة بث الاستقبال على سطح الأرض .

أما المدارات الأخرى فهي مرتبطة بارتفاع القمر الاصطناعي وبميلان مدار القمر الاصطناعي بالنسبة لخط الاستواء .

الباب الرابع : قانون كبلر (Kepler Law) :

لتثبيت القمر الاصطناعي في مداره لا بد أن تتساوى القوة المسلطة على القمر الاصطناعي أي قوة جاذبية مجموع الأرض F_2 والقوة التي تنبثق عن سرعة دوران القمر F_1 مع الملاحظ أن القواتين F_1 و F_2 ممكن التعبير عنهما بالقوانين التالية :



$$F_1 = \frac{G M_S M_E}{D^2} \qquad F_2 = \frac{4\pi^2 M_S D}{T^2}$$

- M_s وزن القمر الاصطناعي
- M_E وزن الأرض (M_E =6.1024 Kg)
- D المسافة من محور الأرض إلى القمر بالمتر (D=((6378000 + R) [m])

T –زمن الدورة حول الأرض بالثانية

G – جاذبية الكون (G=6.67.10-11 Nm2/Kg)

إذا سوينا هذه القوتين فيمكن استخراج المسافة من محور الأرض إلى القمر D و بذلك يمكن استنتاج المسافة من سطح الأرض إلى القمر الاصطناعي R بالمتر بالقانون الموضح فوق.

$$F_1 = \frac{GM_S M_E}{D^2} = F_2 = \frac{4\pi^2 M_S D}{T^2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{T^2.G.M_E}{4.\pi^2}}$$

في هذين القانونين ينتج أن عند زمن معيَن لدورة القمر حول الأرض يقابلها ارتفاع معين

الارتفاع (كم)	زمن الدورة	عدد الدورات
0	84,5 د	17
300	90 د	16
557	96 د	15
1730	2 س	12
4200	3 س	8
6430	4 س	6
11000	11,3 س	3,8
35900	24 س	1

من هذا الجدول يتبين أنه عند ارتفاع معين وبسرعة معينة فإن زمن الدوران يزداد مع الارتفاع وبالتالي فإن الأقمار الصناعية التي تكون ثابتة فهي تدور دورة واحدة في 24 ساعة وتكون على الارتفاع 3590٠ كم من سطح الأرض .

الباب الخامس : تأثير مدارات الأقمار الاصطناعية

١,٥ العوامل المؤثرة .

عوامل كثيرة تتدخل للتأثير على المدار الاصطناعي المخطط وبالتالي يجب تعديل المدار من حين لآخر وهو ما يستهلك الطاقة والوقود في القمر وهو العامل الرئيس في تحديد العمر الافتراضي في الأقمار الاصطناعية المعدة للاتصالات .

كمثال على ذلك فإن الأقمار الاصطناعية الحديثة تحتوي على كمية وقود تكفي لعشر سنوات فبالنسبة للأقمار الاصطناعية ثابتة المدار فإن تغير كمون الجاذبية على الأرض يأثر على مسارها ويحدث ما يسمى إزاحة القمر (DRIFT) كذلك القوة الجاذبية المتأتية من الشمس والقمر تؤثر على القمر الاصطناعي وإذا كان القمر الاصطناعي ذا لوحات شمسية كبيرة فإنه يتعرض إلى ضغط شمسي (طاقة شمسية) عادة ما يستعمل في تصحيح المدار .

٥- ٢ اختيار الترددات :

عند اختيار الترددات للاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية في الوصلة النازلة والصاعدة لا بد من النظر إلى بعض العوامل حسب التطبيقات :

التشويش الداخلية :

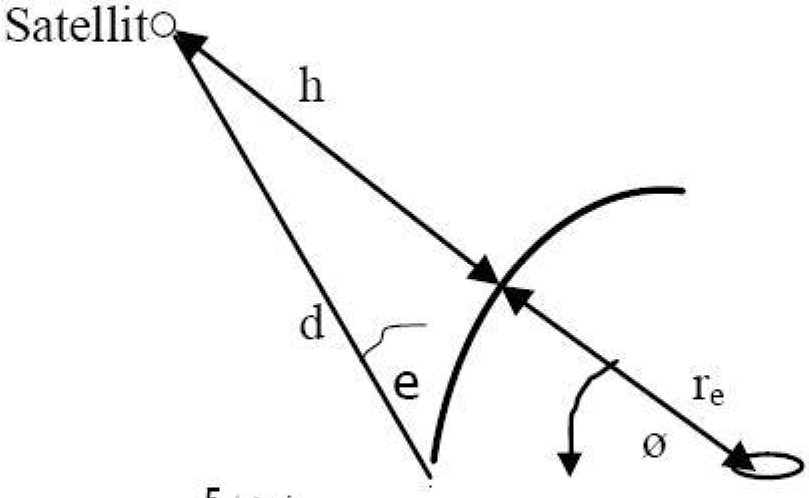
فكلما كان التردد عالياً كلما إزدادت التشويش الداخلية لجهاز الاستقبال وللحيلولة دون ذلك ننعمل على أما زيادة قدرة الإرسال في القمر الاصطناعي أو زيادة كسب هوائي الاستقبال على الأرض .

فتحة إشعاع الهوائي :

كلما كان التردد عالياً كانت زاوية الإشعاع أصغر ففي الاتصالات المتداولة تلعب فتحة الاشعاع دور كبيراً فكلما صغرت فتحة الإشعاع كلما أصبح توجيه الهوائي أدق وبالتالي يكون التتبع أكثر صعوبة ويتلاشى الاتصال بسرعة وفي هذه الحالة يستحسن استعمال الهوائيات ذات الاشعاع في جميع الاتجاهات (MNIDIRECTIIONAL) ولذلك في الاتصالات المتنقلة يجب إيجاد حل وسط بين التردد وفتحة الإشعاع .

٥- ٣ زاوية الصمت :

إن حجم المساحة المشعة بالقمر الاصطناعي يمكن استخلاصها عن طريق زاوية الصمت الدنيا والتي بدورها تتحدد بواسطة البعد الأكبر احتمالاً بين القمر الاصطناعي وسطح الأرض انظر للشكل التالي:



شكل5

$$e = \arccos [((r_e + h) / d) \sin\theta]$$

من المستحسن أن تكون هذه الزاوية صغيرة لتغطية أكثر ما يمكن من المساحة على وجه الأرض .نصف قطر المساحة المغطاة يتعلق بنصف قطر الكرة الأرضية (r_e) وكذلك بارتفاع القمر الاصطناعي h

$$r_{cov} = \left[\arccos\left(r_e \cos \frac{e_{min}}{r_e + h} - e_{min} \right) \right]$$

هذا يمكننا أن نحدد ارتفاع القمر الاصطناعي بالنسبة لزاوية الصمت الدنيا والبعد الأقصى d_{max}

$$h = \sqrt{d_{max}^2 + 2\,dre \sin \varepsilon_{min} + r_e^2} - r_e$$

تكون بذلك المساحة المغطاة بالقمر الاصطناعي

$$A_{cov} = 2\pi r_e^2 (1 - \cos\varphi)$$

ومن هذه العلاقة يمكن استنتاج نصف قطر المنطقة المغطاة وسرعة القمر الاصطناعي وزمن الدوران حول الأرض فمثلاً القمر الاصطناعي IRIDIUM يوجد على ارتفاع 780 كم وسرعة الدوران 850 كم / ساعة يرى من نقطة ثابتة على الأرض لمدة تتراوح بين 5 و 7 دقائق .

الباب السادس : حساب قدرة الوصلة الفضائية

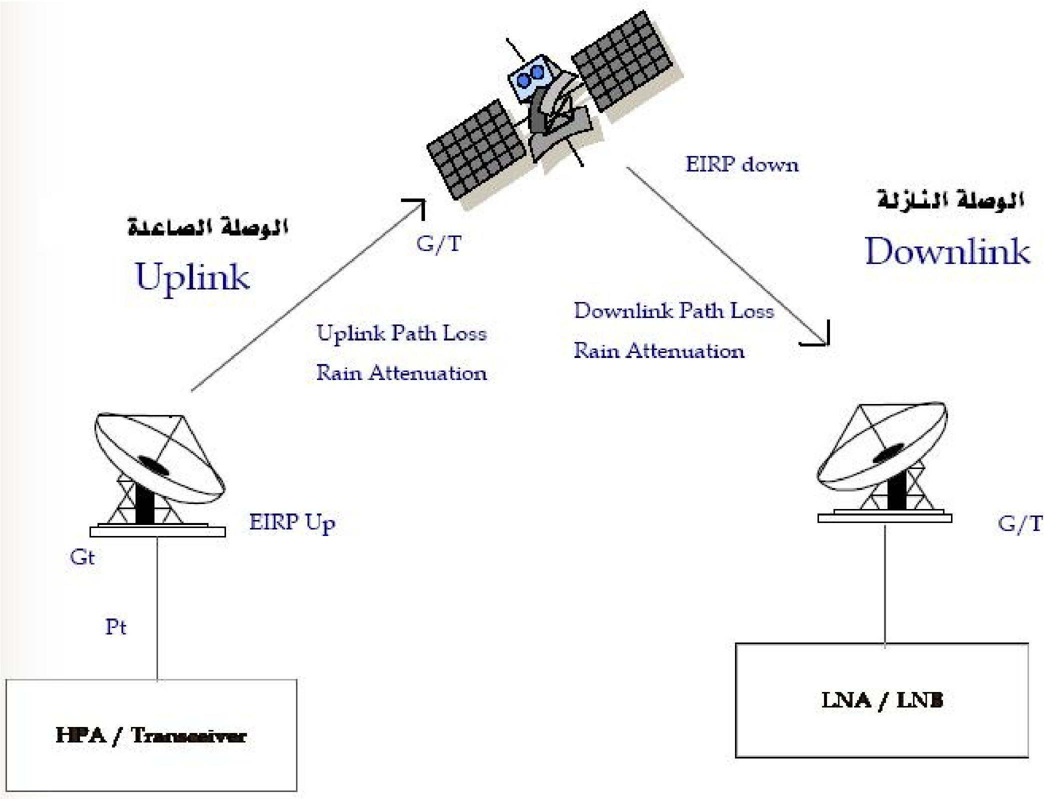
٦-١ تمهيد

لتصميم نظام متكامل عبر الأقمار الاصناعية يجب الأخذ بالاعتبار حلول وسط بين عدة عوامل حتى تكون التكلفة مجدية.

ومن بين هذه العوامل المهمة :

- القدرة الإشعاعية المكافئة (EIRP-Equivalent Isotropic Radiated Power) للوصلة النازلة
- مقام الكسب على حرارة التشويش (G/T)
- هوائي المحطات الأرضية
- الترددات
- التداخلات

لذا ولحساب قدرة الوصلة الفضائية (Satellite Link Budget) يجب علينا أخذ تلك العوامل بعين الاعتبار.



فبالنسبة لمحطة الإرسال الأرضية تؤخذ بعين الاعتبار العوامل التالية لحساب القدرة :

- كسب الهوائي
- قدرة المرسل

أما بالنسبة لمحطة الاستقبال الأرضية فإنه تحدد العوامل التالية :

- كسب الهوائي
- حرارة التشويش في مستقبل ومكبر المايكروويف (LNA/LNB)
- وأجهزة الاستقبال الإخرى

و في الأخير ، بالنسبة للعوامل المهمة المتعلقة بالقمر الصناعي لحساب قدرة الوصلة فهي :

- نسبة كسب الهوائي لحرارة التشويش (G/T)
- قدرة الإشعاع المكافئة الاوزوتروبية (EIRP)
- خصائص المكبر المستعمل
- الفقد في الفضاء الحر (FSLP-Free Space Loss Propagation)
- فقد الناتج عن المطر

٢.٦ حساب القدرة

كسب الهوائي

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

λ- طول الموجة بالمتر و تحسب بالقانون الآتي :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c- سرعة الضوء و تقدر بـــ $c=3.10^8$ m/s

η- كفاءة الهوائي وهي بدون وحدة

D- قطر الهوائي بالمتر

وصلة T في المستوى E (E-Plane)

١) فتحة شعاع الهوائي **Beam Width**

وهي مقياس لاتجاهية الهوائي و تحسب كما يلي:

$$\vartheta_{3dB} = 70 \frac{c}{D.f}$$

أي أن f هي التردد بالهرتز

٢) القدرة المشعة المكافئة الايزوتروبية

$$EIRP = P_T + G_T - L_f$$

L_f- الفقد في المغذي (feeder)

٣) قدرة الاشارة عند المستقبل

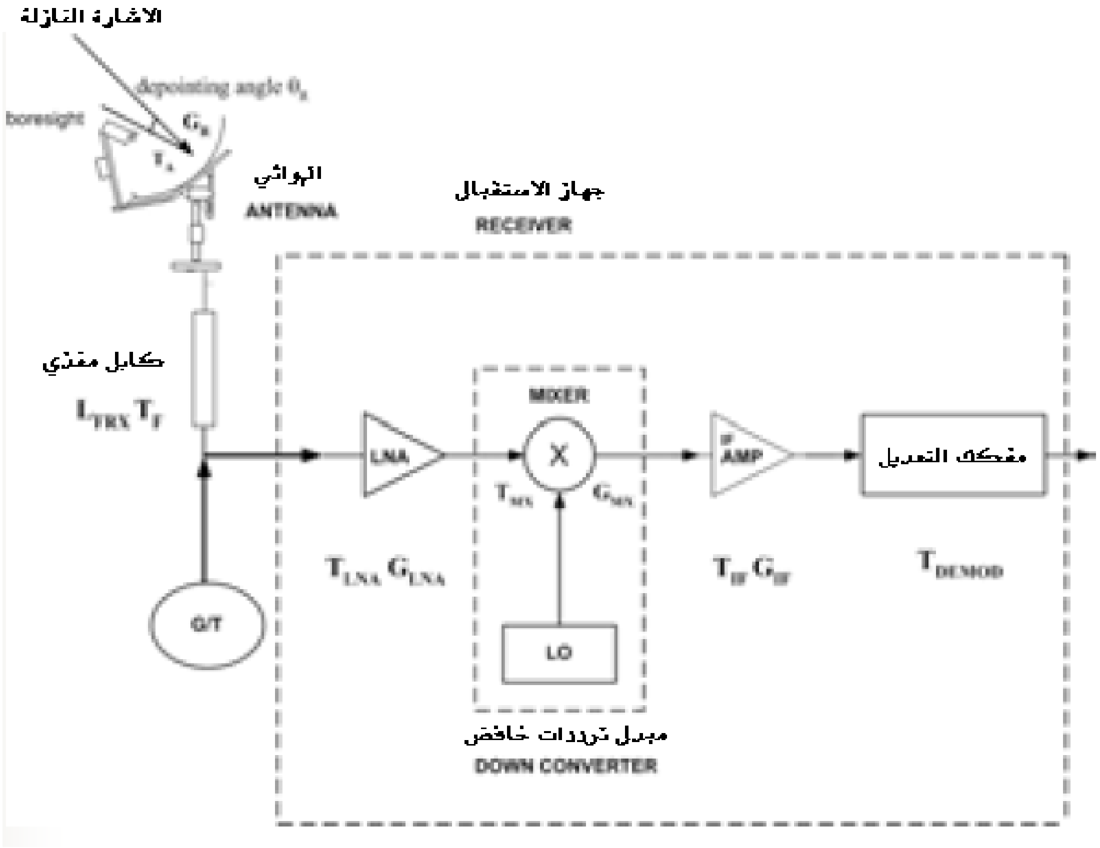
تحتسب القدرة بالقانون الاتي :

$$P_r = EIRP + G_r - \alpha$$

α- الفقد في الفضاء الحر و تحسب كما يلي : $\alpha = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$ أين d- بالمتر هي المسافة من الأرض إلى القمر

G_R- كسب هوائي الاستقبال بـــdB

٤) التشويش الحراري



يظهر التشويش الحراري في النظام نتيجة للحركة العشوائية للإلكترونات في جميع العناصر المكونة لنظام الاتصالات و تعطى قدرة التشويش بالعلاقة التالية :

$$N = kT_eB$$

أين :

-k ثابت بولتسمان $k=1.38.10^{-23}$ JK/Hz

-T_e حرارة التشويش المكافئة

-B سعة النطاق لجهاز الاستقبال

٥) الحرارة المكافئة **Te**

و تحسب بالقانون التالي :

$$T_e = T_o(F-1)$$

-T_o حرارة المحيط

-F عامل التشويش

وتستعمل هذه الحرارة المكافئة عادة في النسبة G/T وهي مقياس لنسبة كسب النظام على التشويش الحرارية . و تعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{G}{T} = G - 10\log\left(T_{sys}\right)$$

$$T_{sys} = T_s + T_e$$

T_s- حرارة التشويش لكل النظام

٣.٦ حساب القدرة للوصلة الفضائية

لحساب القدرة للنظام الكلي فإننا نحتاج إلى معرفة القدرة للوصلة الصاعدة UPLINK وللوصلة النازلة DOWNLINK.

أ.بالنسبة للوصلة الصاعدة (u) UpLINK :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u [dB] = \left(EIRP\right)_e - \alpha_u + \left(\frac{G}{T}\right)_{sat} - k - B$$

مثال :

احسب القدرة لمحطة إرسال أرضية تعمل في الشروط التالية :

القدرة المشاعة المكافئة : EIRP = 37.97 dBW

الفقد للوصلة الصاعدة : α = 199.62 dB

النسبة $(G/T)_{Sat}$=5

الحل :

$(C/N)_u$=37.97-5-199.92+228.6
= 61.65 dB

ب. بالنسبة للوصلة النازلة (d) DOWNLINK :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_d [dB] = \left(EIRP\right)_{sat} - \alpha_d + \left(\frac{G}{T}\right)_{earth} - k - B$$

ومنهما (أ و ب) نستنتج القدرة الكلية (Total) للنظام

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T [dB] = -10\log\left(10^{-\left(\frac{c}{N}\right)_u} + 10^{-\left(\frac{c}{N}\right)_d}\right)$$

مثال : أوجد نسبة القدرة الكلية لنظام الاتصال عبر الأقمار الصناعية التالي:

نسبة قدرة الوصلة الصاعدة $\left(\frac{C}{N}\right)_u [dB] = 61.95\ dB$

نسبة قدرة الوصلة النازلة $\left(\frac{C}{N}\right)_d [dB] = 48.51\ dB$

الحل :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T [dB] = -10\log\left(10^{-61.95} + 10^{-48.51}\right) =$$

$$48.32\ dB$$

٤.٦ حساب طاقة البث إلى كثافة قدرة التشويش $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$

وهي تعتبرر من الضوابط الاساسية لتحديد الكفائة في الوصلات الفضائية عند قيمة معينة لمعدل الاخطاء (BER-Bit Error Rate) وهي قياس عند دخل جهاز الاستقبال و مقياس لقوة الإشارة و متعلقة مباشرة بكمية الطاقة المرسلة من محطة الإرسال الأرضية (Uplink) و تعطى بالعلاقة التالية :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_T + R$$

-R سرعة نقل المعلومات Information Rate - Bit/s

مثال :

احصل على $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ للوصلة الفضائية عندما تكون $\left(\frac{C}{N}\right)_T = 48.32\ dB$ و سرعة نقل المعلومات R=9.6 Kb/s ؟

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 48.32 - 10\log\left(9.6.10^3\right)$$

$$= 8.49 dB$$

٥.٦ هامش المتاح لقدرة الوصلة :

وهو مدى الفرق بين $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ المتاحة و المطلوبة عند نسبة خطأ BER معينة مع احتمال نسبة الخطأ $P=1/10^{+7}$.

مثال :

أوجد الهامش المتاح لوصلة عبر الأقمار الصناعية عند $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)=8.49\,dB$ و $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ المطلوبة عند نسبة خطأ ($1/10^{+7}$) تساوي : 6.5 dB .

الحل :

الهامش المتاح للوصلة :

$$8.49-6.5 = 2\ \text{dB}$$

ملحوظة :

يمثل العامل BER كمية الأخطاء الظاهرة أثناء التراسل . وهي أيضا تعبر عن جودة الوصلة و متعلقة بخصائص التجهيزات ومرتبطة مباشرة بالنسبة $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ و تتحسن كل ما كانت نسبة $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ أكبر و يعطى احتمال الخطأ بواسطة العلاقة :

$$P=\frac{1}{2}e^{-\left(\frac{E_b}{N_0}\right)}$$

P- احتمال الخطأ (Probability)

تقنيات الماكروويف و الأقمار الصناعية

تقنيات التعديل والتجميع

الوحدة السابعة : تقنيات التعديل والتجميع

الأهداف :

تهدف هذه الوحدة لإعطاء المتدرب فكرة شاملة عن تقنيات التعديل والتجميع بصفة عامة و تقنيات تعدد الوصول بصفة خاصة المستعملة في ميدان الأقمار الاصطناعية حيث يتمكن المتدرب من أخذ فكرة عن كيفية استعمال السعة بأعلى قدر حيث يتسنى استغلال هذه السعة المتوفرة.

مقدمة :

إن تطور الاتصالات الحديثة وكثرة المستعملين لموارد الاتصالات والحاجة الماسة لنقل أكثر مايمكن من معلومات أدى إلى البحث عن وسائل و تقنيات جديدة من شأنه استعمال سعة النطاق لتحميل العدد الكبير المتزايد لمستعملي شبكات الاتصالات وهذا استوجب استعمال تقنيات جديدة تخص التعديل الرقمي و تقنيات التجميع و تعدد الوصول.

الباب الأول : طرق التعديل :

إن المعلومة التي يراد نقلها عبر القمر الاصطناعي تتم عادة تعديلها عن طريق موجة كهرومغناطيسية تسمى الحامل (CARRIER) وللقيام بالتعديل يتم استخدام الخصائص التالية للموجة :

أ. السعة U_c

ب. التردد ω_c

ج الطور φ_c

وبالتالي كانت إشارة الحامل ($U_c = U_{max} \, Sin (\omega_c t + \varphi_c$ وتكون إشارة التعديل ($U_M (t) = U_{max} \, Sin (\omega_M t + \varphi_M$ فيتم التعديل على الطرق التالية :

- تعديل السعة (تعديل بإزاحة السعة) ASK

$$U_{AM} (t) = KU_{max} (t) \sin (\omega_c t + \varphi_c)$$

- تعديل التردد (تعديل بإزاحة التردد) FSK

$$U_{FM} (t) = U_{max} \sin (KU_M (t) \pm \varphi_c)$$

- تعديل الطور (تعديل بإزاحة الطور) PSK

$$U_{PM} (t) = U_{max} \, Sin (\omega_c t + KU_m (t)$$

K - معامل ضرب

الباب الثاني : طرق تعدد الوصول :

إن طرق تعدد الوصول المستعملة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية تنقسم إلى الأنواع التالية :

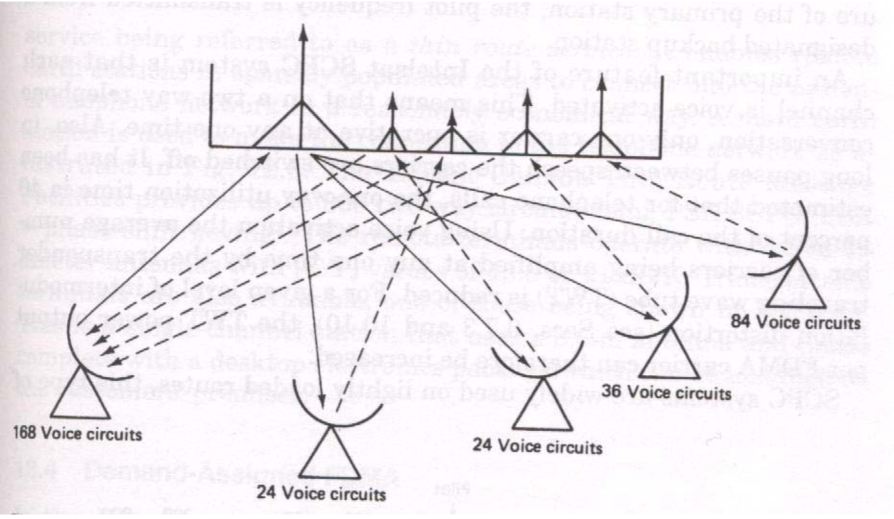
أ. تعدد الوصول بالتقسيم الترددي FDMA

ب. تعدد الوصول بالتقسيم الرمزي TDMA

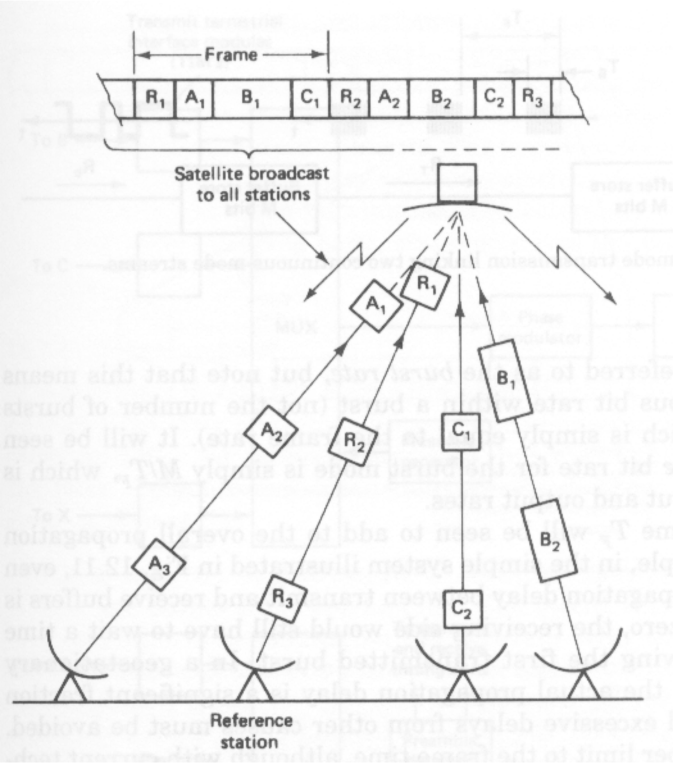
ج. تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري CDMA

د. تعدد الوصول بالتقسيم المكاني SDMA

ويقوم تعدد الوصول بالتقسيم الترددي FDMA على إعطاء لكل محطة قناة خاصة بها ذات سعة نطاق محددة وصغيرة ويجمع عدد معين من هذه القنوات في قناة اتصال ذات سعة نطاق ترددي أكبر وهو ما يعبر عنه بالتجمع الترددي (FDM – Frequency Division Multiplexin) .



أما تعدد الوصول بالتقسيم الزمني – TDMA فيقوم على إعطاء المشترك كامل سعة نطاق القناة ولكن لفترة استعمال زمنية محددة ، وبذلك تكون قناة الاتصال مقسمة إلى فتحات زمنية تستغل حسب قواعد معينة من طرف المحطات المختلفة وتفصل هذه الفتحات عن بعضها بقناة حماية (Guard Time) والتي تعدل اختلاف التزامن للمحطات المستعملة للفتحات .

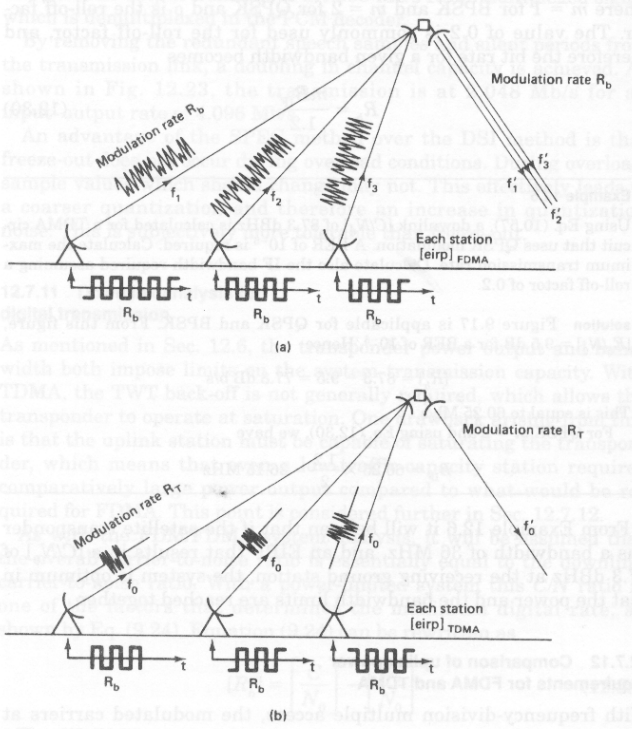


أما بالنسبة للطريقة الثالثة وهي تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري فإنها تقوم على تمكين إرسال المشفر عديد من المحطات على نفس القناة ونفس الوقت .

وأخيراً فإن تعدد الوصول بالتقسيم المكاني SDMA يمكن من استعمال نفس ترددات الاتصال في مناطق تغطية القمر الاصطناعي المتقاربة من بعضها المقسمة حسب فتحة إشعاع هوائي القمر الاصطناعي(SPOT BFAM)

ملحوظة :

يمكن استعمال عدة طرق لتعدد الوصول في نفس الوقت كمثال : TDMA و CDMA



الباب الثالث : جودة الاتصال لوصلة الأقمار الاصطناعية :

إن وصلة الأقمار الاصطناعية تتكون من جزأين وصلة صاعدة ووصلة نازلة يكون القمر الاصطناعي هو المستقبل (Receiver) في الوصلة الصاعدة ويكون هو المرسل(Transmitter) في الوصلة النازلة

تتأثر جودة وسرعة الوصلة إرسال المعلومات بثلاثة عوامل وهي :

أولاً : جهاز الإرسال (طاقة الإرسال و كسب الهوائي وطريقة التعديل وآخره) .

ثانياً : وسط الاتصال (الفضاء الحر و فقد طبقات العليا وفقد الأمطار)

ثالثاً : جهاز الاستقبال (كسب الهوائي و حدة التشويش الاستقبال) .

الباب الرابع : خصائص مركبات نظام الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية وطريقة عملها :

يتركب نظام الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية من ثلاثة أجزاء وهي القمر الاصطناعي و الطرف النهائي للاستقبال و الإرسال .

أ. الجزء الفضائي

أما بالنسبة للقمر الاصطناعي فإنه يقوم عادة بأعمال النقل فقط فبالنسبة للأقمار الاصطناعية للاتصالات فإن عملية التبديل تنجز في المحطة الأرضية لكن الجيل القادم من الأقمار الاصطناعية ستكون قادرة على عملية التبديل على نفس القمر (On Boarding Processing) وبذلك يمكن القول إن الأقمار الاصطناعية الحالية هي عبارة عن محطات إعادة وتقوية الإشارة (Repeater) حيث تصلها الإشارة من المحطة الأرضية على تردد معين فيقوم بعملية التقوية وتغيير مجال التردد للإشارة ثم يعيدها أو يرسلها ثانية للأرض .

ب. الطرف الأرضي للاستقبال

أما بالنسبة للطرف الأرضي فهو يحتوي على أكبر جزء من المعالجات في نظام الأقمار الاصطناعية وذلك في المحطات الأرضية التي تقوم بعمل التحكم والمراقبة للطرف الفضائي كالتحكم في موقع القمر الاصطناعي واصلاح مداره وكذلك مراقبة خصائص وصلة الاتصال والمحافظة عليه .

ج. الطرف الأرضى للإرسال

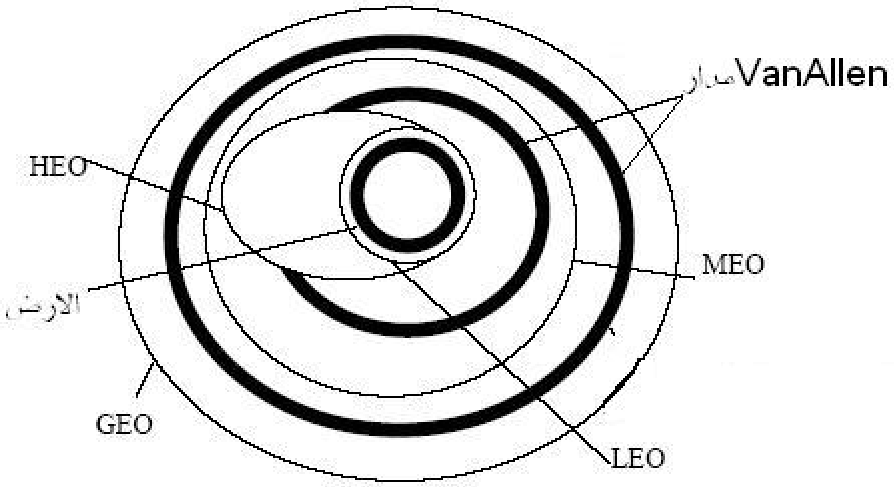
وتتجمع إشارات من مستعملين مختلفين في محطة الإرسال حيث يتم تجميعها وتشفيرها كي تنتقل بأقل تشويش عبر قناة الاتصال ثم تحمل على تردد للإرسال على الوصلة الصاعدة .
ويستقبل القمر هذه الإشارة ويحولها إلى تردد الوصلة النازلة ثم يقويها ويبعثها إلى محطة الاستقبال والتي تقوم بدورها بعكس التعديل وفتح التشفير والتفكيك حتى تصل كل معلومة لمستعملها.

الباب الخامس : أنظمة الأقمار الاصطناعية :

تنقسم أنظمة الأقمار الاصطناعية حسب المناطق التي تغطيها إلى نوعين محلية ودولية وأهم عامل لتخطيط أنظمة الأقمار الصناعية هو ارتفاع المدار الذي بحسبه تنقسم الأنظمة إلى الأنواع التالية:

- نظام المدار المنخفض حول الأرض LEO- Low Earth Orbit
- نظام المدار متوسط الارتفاع MEO – Medium Earth Orbit

- نظام المدار البيضوي HEO – Heliptical Earth Orbit
- نظام المدار المتزامن مع دوران الأرض GEO – Geostationatry Earth Orbit

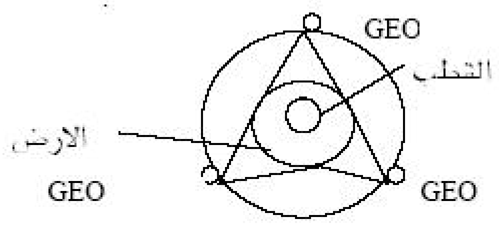


١,٥ المدار المتزامن مع الأرض : GEO

هو عبارة عن مدار موازٍ لخط الاستواء ويوجد على ارتفاع 35786 كم ، الأقمار الاصطناعية التي توجد على هذا المدار تكون سرعتها 3.06 كم / ثانية وهي نفس سرعة دوران الأرض أي أن المدة الزمنية للدورة الواحدة للقمر الصناعي هي 23 ساعة و ٥٦ دقيقة و ٤ ثوانٍ وبذلك يكون القمر ثابتاً بالنسبة لمشاهد يوجد على الأرض .

مميزات هذا المدار :

1. ييسر عمليةالتشكيلة.
2. إمكانية تغطية مناطق شاسعة على الأرض بقمر اصطناعي واحد أي يمكن بذلك ربط محطات على أبعاد كبيرة .
3. بواسطة ثلاثة أقمار صناعية متزامنة يمكن تغطية كل الكرة الأرضية (انظر الصورة أدناه)



4. عدم تطلب تجهيزات معقدة لتتبع القمر الاصطناعي من طرف هوائي الاستقبال
5 . نتيجة للتغطية الشاملة لهذا النظام فإنه تقل مشاكل توزيع المعلومة (Routing Problem)
6. نتيجة للتزمان مع الأرض ظاهرة دوبلر قد تكون معدومة في الإشارة .

مساوئ المدار :

1. نتيجة لارتفاع القمر في هذا المدار فحتى تتغلب على الفقد الموجود فيجب استعمال أجهزة إرسال نظامية عالية وهوائيات كبيرة الحجم .
2. عدم تغطية مناطق ذات خطوط عرض عالية لأن الاتصال عبر الأقمار الاصطناعية يجب أن يكون في خط البصر في المناطق الموجودة على خط عرض أكثر من 72 درجة بحيث تكون زاوية الارتفاع أقل من 10 درجات فإنه لا يمكن تغطيتها فالحواجز تمنع خط البصر حتى الصغيرة منها .
3. وضع القمر الصناعي ذو مدار متزامن يتطلب تكلفة عالية ويحبذ أن يكون موقع الوضع قريباً من خط الاستواء .
4. بالنسبة لهذا المدار يمكن أن تنزاح الأقمار إلى حدود 60 كلم عن مكانها وبذلك يجب أن تتوفر إمكانية تعديل المكان من الأرض .

وعلى ضوء هذه المساوئ فإن نظام الأقمار الاصطناعية هذا لا يصلح للاتصالات المتنقلة وإنما يصلح مبدئياً لخدمات الاتصالات الثابتة

٢,٥ المدارات غير المتزامنة (LEO – MEO)

مع ازدياد الأهتمام بالاتصالات المتنقلة عبر الأقمار الاصطناعية فقد تم تطوير أنظمة أخرى ذات مدارات منخفضة فنظام LEO يوجد على ارتفاع 200 كم وحزام Van Allen الداخلي على ارتفاع 1500 كلم.

أما نظام MEO فيوجد ما بين حزام Van Allen الداخلي والخارجي أي بين 5000 و 13000 كلم وإضافة إلى هذه المدارات الدائرية تم تطوير نظام HEO الذي مكن بواسطة مداره البيضاوي من تغطية أفضل للمناطق المكتظة بالسكان دون اللجوء إلى مدارات عالية .

مميزات LEO و MEO نسبة إلى GEO

1. نتيجة للارتفاع المنخفض فإن طاقة الإرسال تكون منخفضة نسبة إلى GEO .
2. زاوية الارتفاع أعلى في المعدل ونتيجة للعدد الكبير للأقمار الاصطناعية على المدار الواحد فإنه يمكن اختيار أحد الأقمار التي تكون على مسافة قريبة من المستعمل الجوال
٣. نتيجة للعدد الاحتياطي في الأقمار فإن الخدمة مؤمنة بقدر عالٍ .
4. يمكن بواسطة هذه الأنظمة تغطية مناطق ذات الخطوط العالية كالمناطق القطبية .
5. التأخير الزمني للإشارة يكاد يضمحل .

مساوئ هذه الأنظمة :

1. يكون الربط مع القمر الاصطناعي في مدة قصيرة وزاوية ارتفاع متغيرة .
2. يغطي كل قمر منطقة صغيرة .
3. يتطلب التحكم الجيد لتعقد النظام.

٣,٥ أقمار ذات المدار البيضاوي (HEO)

الأقمار الاصطناعية في هذا المدار تقترب من الأرض إلى بعض مئات الكيلومترات ومن ناحية ثانية تبتعد عن الأرض قيمة المسافة GEO وتكون هنا صالحة لأغراض الاتصالات حيث تكون سرعتها قليلة فيبدو أن القمر الاصطناعي يكون ثابتاً في مداره لمدة طويلة .

غير أن هذا النظام من الأقمار يخترقه حزام Van Allen بشكل متكرر وتكون بذلك عرضة للإشعاعات القوية لهذا الحزام .

الجدول التالي يبين مقارنة بين هذه الانظمة :

	GEO	LEO	HEO
المدار	موازٍ لخط الاستواء ودائري ارتفاع 535786	قطبي ودائري 720 كم	بيضوي نقطة الاقتراب 500 كم نقطة الابتعاد 40500
عدد الأقمار لتغطية نقطة واحدة	1	6	4
زمن الدورة	23 س ٥٦د و ٤ ث	١س و ٤٠ د	12 س
أصغر زاوية ارتفاع	5 درجات	8 درجات	80 درجة
الوزن التقريبي	1500 كغ	700 كغ	1000 كغ
عدد الأقمار في المدار	3	60 (١٠ مدارات)	12 (3 مدارات)
مدة الصعود	24 س	10 د	8 س
مثال	INMARSAT	GLO BALSTAR	MOLNYA SVNCOM

المراجع

- David M. Pozar, 1998. " Microwave Engineering ", John Wiley and Sons, Inc. Second Edition.

- Denis, Roddy , 1996 . " Satellite Communications", McGraw-Hill . Second Edition.

- Joseph Helszajn, 1992. "MICROWAVE ENGINEERING : Passive, Active and non-Reciprocal Circuits. McGraw-Hill.

- Kajfez, D. , May 1983. " Modal field patterns in dielectric rod Waveguide", Microwave J., p.181

- Smith, P.H., 1969. Electronic Application of the Smith Chart, McGraw-Hill.

- http://www.nawatt.com/Smith/Smith.htm

- http://we.home.agilent.com/USeng/nav/-11882.0/pc.html

المحتويات

مقدمة.. خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.
الوحدة الأولى: مقدمة في الموجات الدقيقة وخطوط النقل .... - ١ -
مقدمة : .... - ٢ -
الباب الأول: خصائص المايكروويف .... - ٣ -
الباب الثاني : خطوط النقل في المايكروويف........................ - ٥ -
الوحدة الثانية: الدليل الموجي (WAVE GUIDE)........................ - ١٠ -
مقدمة :: .... - ١١ -
الباب الأول: دليل الموجة المستطيل (Rectangular Wave guide) : .... - ١٢ -
الباب الثاني: دليل الموجة دائري المقطع Circular waveguides : .... - ٢١ -
الباب الثالث : الاختلافات بين الدليل الدائري والدليل المستطيلي : .... - ٢٣ -
الباب الرابع : عناصر دليل الموجة غير الفعالة .... - ٢٤ -
الوحدة الثالثة: صمامات ومولدات الموجات الدقيقة ٣١
مقدمة : ٣١
الباب الأول : الصمامات و مكبرات الموجات الدقيقة ٣٢
الصمام الثلاثي للتردد ما فوق العالي ودوائره ٣٢
الكليسترون متعدد التجاويف........................ ٣٤
الكليسترون الارتجاعي Reflex Klystron ٣٦
صمامات ومكبرات الموجة الرحالة ٤٥
الباب الثاني : عناصر أشباه الموصلات ودوائرها........................ ٤٦
الباب الثالث : الترانزيستورات والدوائر المتكاملة : ٥٧
الوحدة الرابعة: مخطط سميث (SMITH CHART)........................ ٦١
الباب الأول : انتشار الموجات على خطوط النقل ٦١
الباب الثاني : الموجات المستقرة........................ ٦٣
الباب الثالث : مخطط سميث (حالة خط بدون فقد)........................ ٦٥
الباب الرابع : أمثلة تطبيقية ٧٤

الوحدة الخامسة : مسارات موجات المايكروويف ٧٧
مقدمة : ٧٧
الباب الأول : انتشار موجات المايكروويف : ٧٨
الباب الثاني : منطقة فرينال Fresnel : ٨١
الباب الثالث : إدخال عامل التشويش ٨٢
الوحدة السادسة : مقدمة في الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية .... - ٨٦ -
مقدمة : .... - ٨٦ -
الباب الأول : تطور الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية .... - ٨٧ -
الباب الثاني : توزيع الترددات حسب خدمات الأقمار الاصطناعية : .... - ٨٩ -
الباب الثالث : الأساسيات التقنية للأقمار الاصطناعية : .... - ٩٣ -
الباب الرابع : قانون كبلر (Kepler Law) : .... - ٩٤ -
الباب الخامس : تأثير مدارات الأقمار الاصطناعية .... - ٩٦ -
الباب السادس : حساب قدرة الوصلة الفضائية .... - ٩٨ -
الوحدة السابعة : تقنيات التعديل والتجميع .... - ١٠٥ -
مقدمة : .... - ١٠٥ -
الباب الأول : طرق التعديل : .... - ١٠٦ -
الباب الثاني : طرق تعدد الوصول : .... - ١٠٦ -
الباب الثالث : جودة الاتصال لوصلة الأقمار الاصطناعية : .... - ١٠٨ -
الباب الرابع : خصائص مركبات نظام الاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية وطريقة عمله : .... - ١٠٩ -
الباب الخامس : أنظمة الأقمار الاصطناعية : .... - ١٠٩ -
المراجع ١١٤